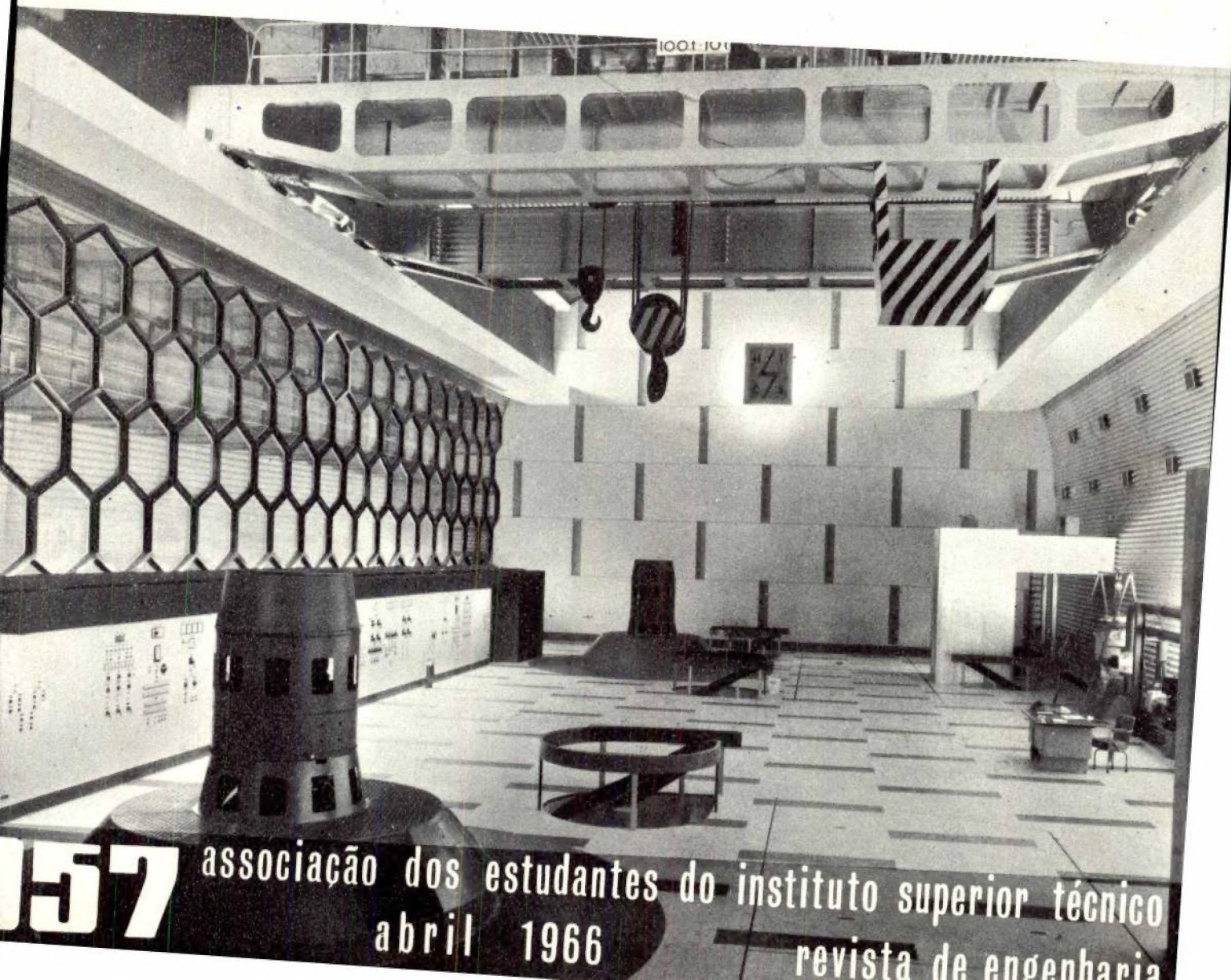
técnica



157 associação dos estudantes do instituto superior técnico
abril 1966
revista de engenharia

CIMENTO SECIL

SECIL

Fábrica:

Outão — Setúbal

Telef. 228824/5

Escritório:

R. do Comércio, 56-3.º

LISBOA 2

Telef. 328201/2/3

REGINA REX

CORRENTES

DE TRANSMISSÃO

PARA

INDÚSTRIA, AGRICULTURA, ETC.

REPRESENTANTES EXCLUSIVOS

AUTO-LUSITANIA

ALFREDO DUARTE, LDA.

AVENIDA DA LIBERDADE, 73-79

LISBOA

confiança para a construção com

materiais novobra

EM BETÃO PRÉ-ESFORÇADO

pavimentos

coberturas

vigas de grande vão

asnas

perfis

SOCIEDADE DE PRÉ-FABRICAÇÃO E OBRAS GERAIS, NOVOBRA, LDA.

AV. EST. UNIDOS DA AMÉRICA, 100, 5.º D. - TEL. 77 48 32/766446 - LISBOA-5

HELIAÇO

VARÕES DE AÇO DE ALTA RESISTÊNCIA

PARA BETÃO ARMADO TIPO A. 40

(«Heliaço» e «SNT 40»)

TENSÕES DE SEGURANÇA

Ra = 2400 kg/cm²

e

Ra = 4000 kg/cm² (SISMOS)

Literatura e Tabelas de Cálculo

fornecidas gratuitamente

HELIAÇO, LDA.

R. DE S. JULIÃO, 41, 4.º D. — LISBOA

Tel.: 36 78 17 - 32 37 06 - 36 94 77

técnica

NÚMERO 357 * ABRIL DE 1966 * ANO XLI * VOLUME XXVIII * PUBLICAÇÃO MENSAL

Director
Assis Farinha Martins

Administrador
V. M. Martins Pinto

Secretário
V. M. B. Coias e Silva

Redactores
Amadeu M. R. Marrecas
Amílcar S. Martins
João C. V. F. Antas
Mário P. M. Garcia

Editor e Proprietário
Associação dos Estudantes do Instituto Superior Técnico

Redacção e Administração
Avenida Rovisco Pais
Telefone 77 54 49
Lisboa 1

★

Assinaturas

	3 N.os	5 N.os	10 N.os
Continente e Ilhas	37$50	60$00	110$00
Ultramar, Brasil e Espanha	—	65$00	120$00
Estrangeiro	—	70$00	130$00

Número avulso — 15$00

★

Os artigos assinados são da exclusiva responsabilidade dos seus autores.

Composto e impresso na Tipografia Jorge Fernandes, Lda. — Rua da Cruz dos Poiais, 103 — Lisboa

SUMÁRIO

367 *ANTÓNIO PORTELA* — **Ensino**
Education

373 *ROGÉRIO MARTINS* — **As equações fundamentais das máquinas eléctricas**
Fundamental equations of electrical machines

379 *A. SOARES DE MELLO* — **Centrais térmicas de pequena potência**
Small industrial steam raising stations

389 *J. RESSURREIÇÃO NETO* — **Prospecção eléctrica dos terrenos de fundação. Possibilidades e limitações**
Resistivity Surveying of Foundations Grounds

*

407 **Vida Escolar e Associativa**
ROMÃO DIAS — Alguns aspectos da extracção por solventes de catiões metálicos. Aplicações Analíticas

378 **Notas Informativas**
Elementos sobre a produção e o consumo de energia na rede eléctrica nacional

425 **Biblioteca**

CAPA Barragem do Alto Rabagão (Hidro-Eléctrica do Cávado) — Sala dos alternadores.

Índice Alfabético dos nossos anunciantes

A

Pág.

A. E. G. V
A. Johnson & Co (Portugal), Ltd. . . XXX
Aguiar e Melo XXXI
Araldite XLI
Auto-Lusitânia . . . . . 2.ª da capa
Automática Eléctrica XVI
Asea Eléctrica Ld.ª XXXIX

C

CIDEX IV
Cimento Secil . . . . . 2.ª da capa
Companhia de Cimentos Brancos . . VIII
Companhia Portuguesa de Fornos Eléctricos XXXII
Companhia União Fabril XXXIII
Construções Técnicas XXV

D

Dial XX
Du Pont IX

E

EFACEC XIV
EKM XXXV
Electro-Arco, Ltd.ª IV
Empresa de Cimentos de Leiria . . XLII
Empresa Electro Cerâmica XLI
Empresa de Produtos Asfálticos. . . X
Empresa de Sondagens e Fundações Teixeira Duarte, Ltd.ª . . . . . 3.ª da capa
Empresa Técnica de Equipamentos Eléctricos XI
Empresa Ultramarina de Sondagens e Fundações XVI
ESSO VI

F

Fábrica Portugal II
Fanafel XVI
Fundações Franki, Lda. I

G

George Fischer III
Guedes & Almeida, Lda. XXXVIIII

H

Heliaço . . . . . 2.ª da capa
Hotel dos Navegadores XXVI

I

Pág.

Impermeábilis XX
Isolux, Ld. XL

J

Jayme da Costa, Lda XV
Johann Keller XXVI

L

Lab. Nac. Engenharia Civil 388

M

MAGUE XIII
Monteiro Gomes, Lda. XXXVI
Monterroso & C.ª, Lda. XL

N

Novobra, Lda. . . . . 2.ª da capa

Q

Quimicor, S.A.R.L. XIX

R

Renoluz XX
Roberto Bosch (Portugal), Lda. . . . XVIII
Romar XXVIII

S

Soc. Const. Amadeu Gaudêncio . . XXIX
Sociedade de Electricidade Brown Boveri . . . . . 4.ª da capa
Sociedade Industrial Metalúrgica . XXXVII
Soc. Michaelis de Vasconcelos . . . XII
Sociedade Portuguesa Cavan . . . VIII
Sondagens e Fundações A. Cavaco . IV
Sondagens Ródio, Ltd.ª XXXVII
Sopecate XXXVII
Standard Eléctrica VII
S. T. E. T. XXI

T

Technogommerz GmbH XXXV

V

Vasco Pessoa, Lda. XX

W

Wild Portugal, Lda. XVII

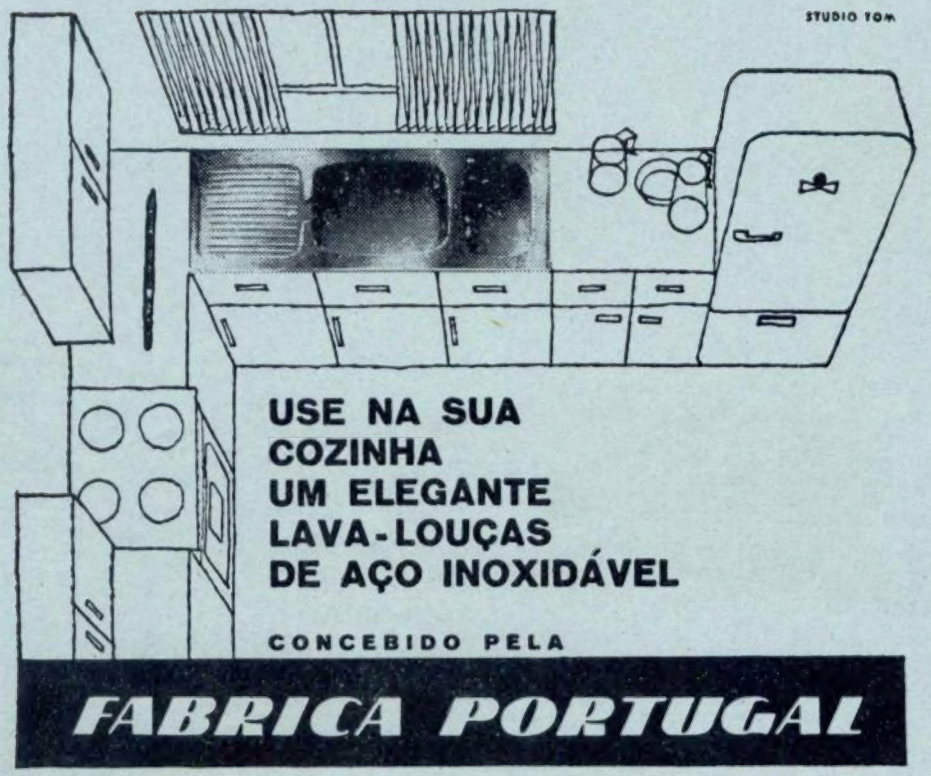
Pavilhão da Feira das Indústrias Portuguesas — Lisboa

Fundações Sobre 132 ESTACAS FRANKI

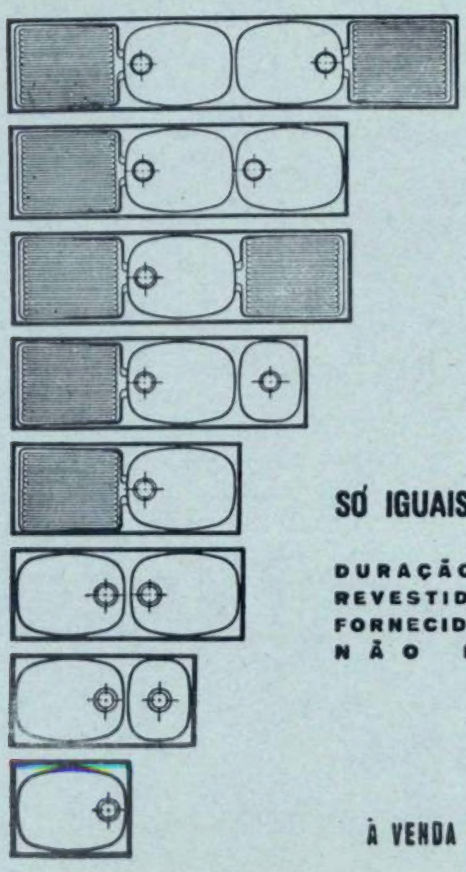
FUNDAÇÕES FRANKI, L.DA

Rua Braamcamp, 13, 3.º — Lisboa 1

Telefs. 73 41 12/3/4 — End. Teleg. FRANKI



PARA MODERNIZAR OS LARES DE PORTUGAL



APRESENTADOS EM

8 MODELOS

"STANDARD"

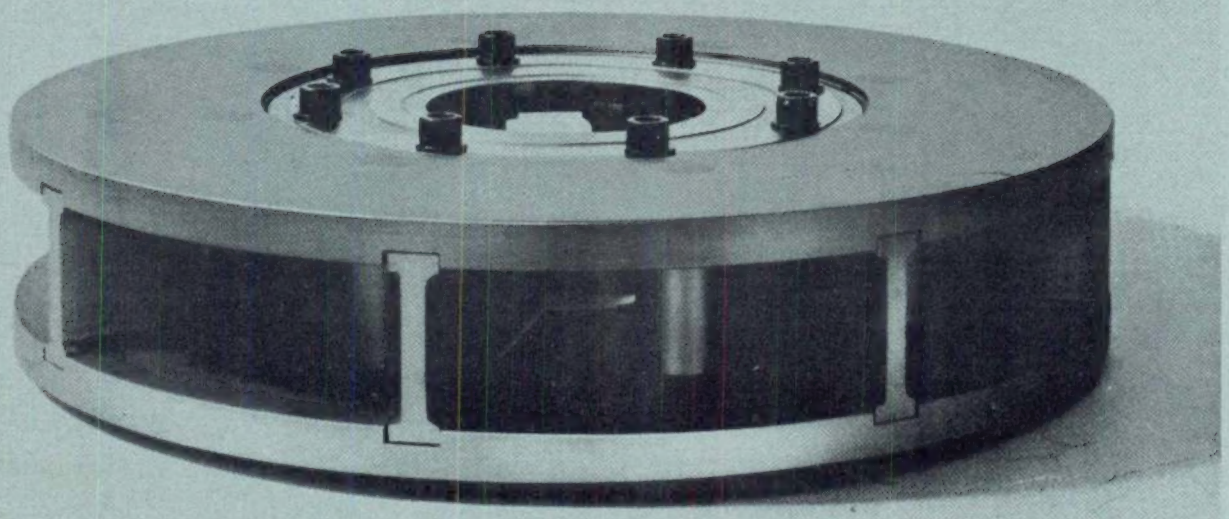
EXECUTAM-SE FORA DE SÉRIE, MODELOS ESPECIAIS PARA GRANDES INSTALAÇÕES

SÓ IGUAIS AOS MELHORES ESTRANGEIROS

DURAÇÃO ILIMITADA • HIGIÉNICOS
REVESTIDOS DE ISOLAMENTO ESPECIAL
FORNECIDOS COM SIFÃO DE SEGURANÇA
NÃO PARTEM A LOUÇA

À VENDA NAS BOAS CASAS DA ESPECIALIDADE

¿ISTO É TUDO ?



Super turbina da máquina +GF+ a tambor WHEELABRATOR (patentes depositadas)

Mas não! Mas isto é o orgão essencial que condiciona o rendimento inegualavel até agora das máquinas a tambor +GF+. A quantidade de grenalha projectada por esta super turbina é superior aquilo que tem sido possivel obter neste dominio (até 1000 kgs. segundo o modelo).

O jacto abrasivo, estritamente delimitado, é dirigido com precisão e a sua densidade é uniforme. As velocidades de projecção são muito elevadas (até 85 m/s).

A isto se juntará

– Uma separação activada dos corpos estranhos (graças aos depuradores de abrasivo mais amplamente dimensionados).

– A possibilidade de modificar rapidamente e simplesmente a velocidade do tapete para obter uma cadencia de trabalho optima.

– A certeza de dispor da máquina mais adequada a cada tratamento.

Com efeito a nova gama não comporta menos de 10 máquinas de capacidade e tipos diferentes.

Tôdas estas máquinas se colocam sobre o solo, sem fundações, reduzindo os encargos de instalações e falicitam a vigilância e conservação. Poderemos nós vos documentar duma maneira mais detalhada?

Pedi nossos catalogos ou a visita dos nossos especialistas.

+GF+ **Georges Fischer Sociedade Anónima, Schaffhouse (Suiça)**

GM 1299/5 Endereço postal: 8201 Schaffhouse Telefone: 053 5 60 31 e 053 5 70 31 Telegrammas: Geofischer Telescriptôr: 5 62 22 geofischer schf

Bombas centrífugas «PACIFIC»

Construídas por

Batignolles - Chatillon

Especialmente destinadas para:
- Petróleos
- Indústrias químicas
- Construções navais
- Centrais eléctricas
- Alimentação de caldeiras
- Etc., etc.

Sob as condições de funcionamento seguintes:
- Débitos: 1 m³/h a 10.000 m³/h
- Pressões: altas e baixas
- Temperaturas: −180° C + 500° C
- Líquidos: corrosivos ou não

Para estudos e orçamentos, consultar o representante em Portugal:

CIDEX — Comércio Internacional
e Representações Industriais, Lda.

Av. Casal Ribeiro, 46-2.°/Telef. 73 53 07/LISBOA 1

Pesquisas e captações de água

Sondagens

Rebaixamento de níveis aquíferos

Injecções e consolidações de terrenos

Fundações

Estacas de betão

SONDAGENS E FUNDAÇÕES A. CAVACO, LDA.

R. RODRIGO DA FONSECA, 62, R/C ESQ. — LISBOA-1
- TELEF. 73 35 45 - 5 95 62 - 55 38 73

ELECTRO-ARCO, L.DA

ELÉCTRODOS ✦ POSTOS ✦ ACESSÓRIOS
PARA A SOLDADURA ELÉCTRICA

*

ESCOLAS DE SOLDADURA

—

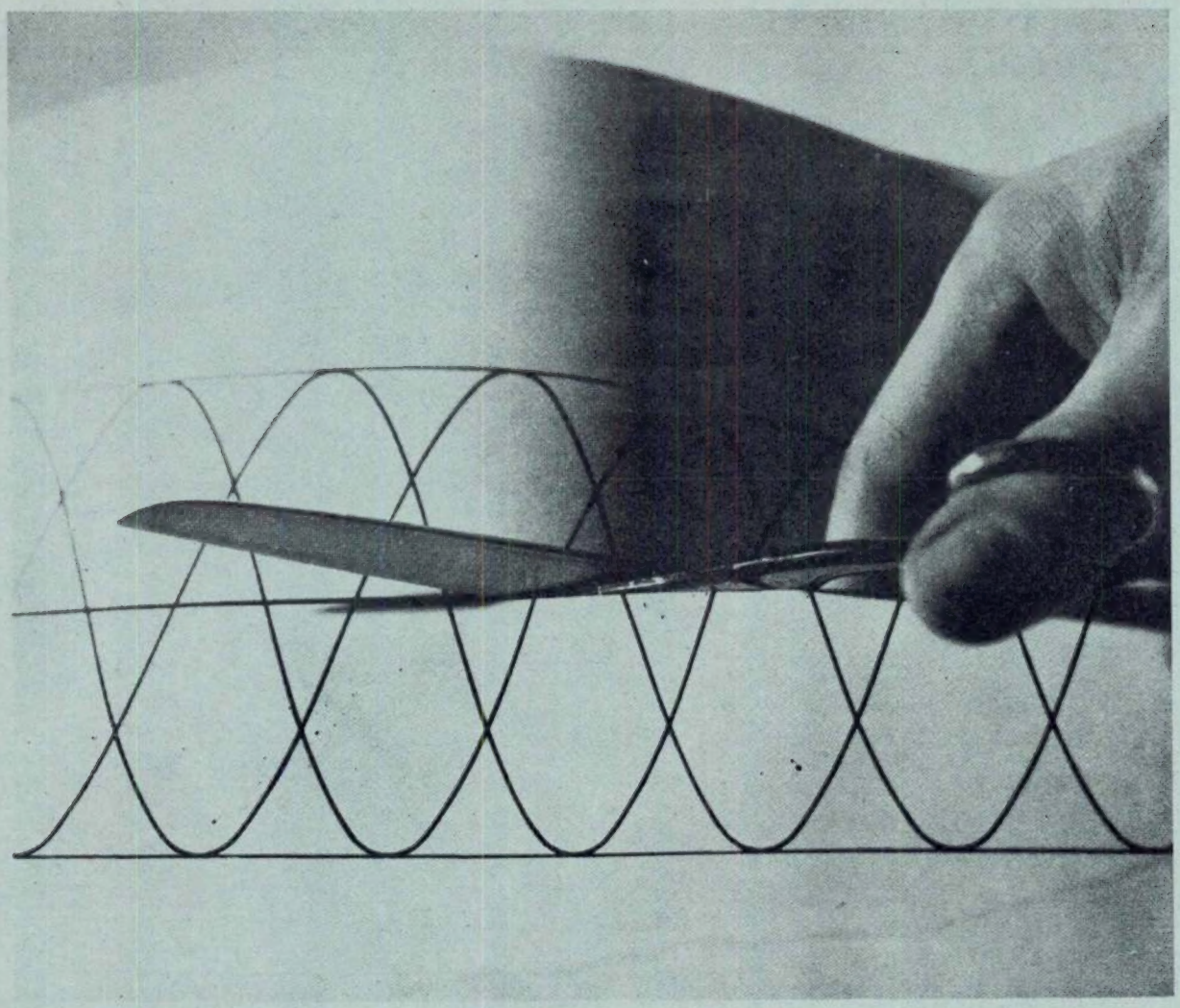
MATERIAL APROVADO PELOS
LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING
BUREAU VERITAS
GERMANISCHER LLOYD

—

LISBOA
Rua Silva Carvalho, 239
Tels. 68 36 49 - 68 48 93

FÁBRICA E LABORATÓRIOS
Venda Nova — Amadora
Tels. 97 06 13 - 97 17 33

PORTO
Rua do Bolhão, 216
Tel. 2 12 77 - 39 44 73



ZWA 2360

A tesoura nada resolve . . .
quando se necessita de corrente contínua

Para tal podemos fornecer-lhe outras espécies de «tesouras», graças ao nosso vasto programa de rectificadores. Dispomos de uma fábrica de semicondutores, apta a fornecer rectificadores para as mais variadas aplicações. Os resultados obtidos nesta fábrica são cada vez mais surpreendentes, devido a constantes trabalhos de pesquisa e de aperfeiçoamento. Os processos de fabrico altamente desenvolvidos e a longa experiência adquirida na forma de produção mais adequada, garantem uma qualidade cada vez melhor.
Quer se trate de rectificadores de selénio com características de passagem melhorada, quer de díodos de silício ou de células de silício comandáveis (tiristores) com tensão de bloqueio aumentado, sempre que haja necessidade de corrente contínua ou de «moldar», corrente alternada, os nossos elementos semicondutores e instalações rectificadoras constituem a solução.
Podemos fornecer quase todos os tipos de rectificadores normais em curto espaço de tempo, do nosso armazém.

AEG

REPRESENTANTE EXCLUSIVO:

AEG LUSITANA DE ELECTRICIDADE

medir controlar regular

automação

UMA MANUTENÇÃO DA MAQUINARIA MAIS ECONÓMICA

Se você evitar por todas as formas ao seu alcance as possíveis falhas da sua máquina, resultará muito mais económica a sua manutenção.

O óleo industrial ESSO proporciona uma segurança absoluta no rendimento, reduzindo ao mínimo as avarias.

O óleo industrial ESSO torna possível um menor desgaste nas diversas peças, uma melhor conservação de todo o tipo de máquinas, o que, afinal, pressupõe um aumento da produção e a obtenção de maiores benefícios.

Esso.... PROGR **Esso**.... SUC **Esso**

Esso O SIMBOLO **Esso** REPRESENTA SETENTA E SETE ANOS DE EXPERIÊNCIA MUNDIAL, COM VINTE DE BONS SERVIÇOS EM PORTUGAL

ESSO STANDARD PORTUGUESA (COMPANHIA DE PETROLEOS) S. A. R. L.

Em Lisboa: Rua Filipe Folque, 2 – No Porto: Av. Serpa Pinto, 227 - Matosinhos

Com os condensadores MP os motores de indução arrancam bem e funcionam melhor !

Os condensadores MP apresentados pela ITT em caixas seladas de aluminio são auto-regeneradores. Oferecem, portanto, uma elevada resistência aos usuais factores de destruição tais como humidade elevada, picos de tensão, etc...

O alto nível de qualidade tornam-nos especialmente indicados para o arranque e funcionamento com motores monofásicos de indução. É o caso, por exemplo, dos motores utilizados nas máquinas de lavar, queimadores de óleo, bombas, ventiladores, serras circulares e máquinas-ferramentas.

Características :

— Capacidade : 0,5 μF a 160 μF;
— Tensão nominal : 220 V a 600 V;
— Temperaturas de serviço : —25°C a 85°C.

Para informações adicionais relativas aos nossos condensadores MP ou à nossa linha completa de componentes, que se estende desde os micro-módulos às válvulas gigantes de emissão, consulte a :

STANDARD ELÉCTRICA, s.a.r.l.
Avenida da India
LISBOA 3
Telefone : 63.81.71
Telex : 572

componentes electrónicos

ITT Standard

66/11P

O EMPREGO DO CIMENTO BRANCO...

permite acabamentos mais perfeitos, mais duradouros e muito mais económicos

Estude a vantagem do emprego do

CIMENTO BRANCO LUSO

Consulte os distribuidores gerais

No Sul: **SCIAL** — T. do Corpo Santo, 15 — Telef. 66 61 86 — Lisboa
No Norte: **SCIAL** — R. do Bonjardim, 205 — Telef. 2 5779 — Porto

CAVAN

SOCIEDADE PORTUGUESA

✸

POSTES DE BETÃO PARA LINHAS ELÉCTRICAS
MOSAICOS E AZULEJOS

COLUNAS PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA
MANILHAS PARA ESGOTOS

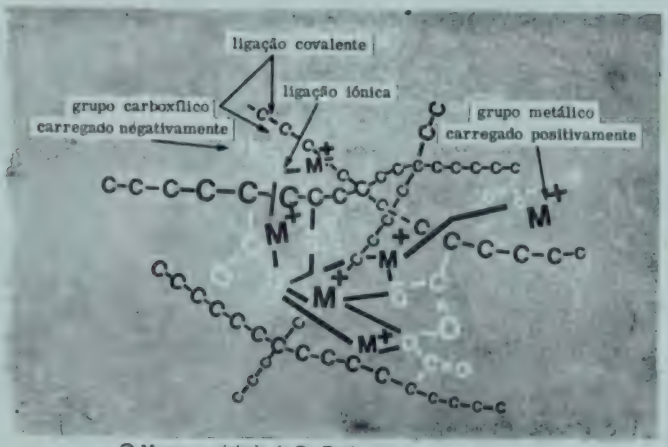
✸

RUA D. ESTEFÂNIA, 94-A
TELEF. 47812-50129
LISBOA

O SURLYN® A,

Resina ionómera é extraordinàriamente resistente transparente e fácil de transformar

LIGAÇÃO IONÓMERA



® Marca registada da Du Pont

LIGAÇÃO IONÓMERA - COMBINAÇÃO DE PROPRIEDADES EXCEPCIONAIS

O "SURLYN" A é o primeiro de uma nova família de termoplásticos. É uma resina ionómera que alarga o campo de propriedades habituais em um só polímero.
O termo "ionómero" foi escolhido para descrever a acção de ligações iónicas entre cadeias que se produzem no "SURLYN" A. Resultado: O "SURLYN"A tem um grau de transparência que é único em termoplásticos de igual resistência.
Essas cadeias dão uma resistência e rigidez sem afectar a facilidade de transformação bem como um alto grau de resiliência e uma excepcional resistência aos dissolventes, óleos e graxas.

FÁCIL DE TRANSFORMAR

O "SURLYN" A tem uma estabilidade térmica excepcional no estado de fusão. Pode-se utilizar numa grande variedade de máquinas de moldação.
O "SURLYN" A não precisa de plastificante. Admite grande quantidade de cargas e devido à sua baixa densidade produz mais peças por quilo.

O "SURLYN" A é ideal para a moldação por injecção, vácuo, sopro e extrusão de perfis, tubos e revestimentos.

GRANDE VARIEDADE DE APLICAÇÕES

Entre as muitas peças moldadas que se têm fabricado com "SURLYN" A podemos citar:

- Cabos de ferramentas
- Mostradores de instrumentos de medida
- Aparelhos de precisão
- Saltos de sapatos
- Caixas para frigoríficos
- Acessórios médicos
- Equipamentos de segurança

PARA MAIS INFORMAÇÕES

O "SURLYN" A tem um lugar importante entre os materiais de moldação que se utilizam.
Obtenha informações detalhadas sobre esta nova e excepcional resina por intermédio do seu distribuidor em Portugal.

DU PONT

Coisas melhores para viver melhor

.... graças à Química

Consulte os Serviços Técnicos do

DISTRIBUIDOR EM PORTUGAL

ANJOS PEREIRA & C.ª, L.DA

Rua D. João V, n.º 2, 3.º

Teleg. STAG **LISBOA** **Tel. 68 41 41**

Celulite

ISOLAMENTO
TÉRMICO DAS
CONSTRUÇÕES

PAVIMENTOS
*
TECTOS
*
PAREDES
*
CÂMARAS
FRIGORÍFICAS
*
ISOLAMENTOS
INDUSTRIAIS

Terraços e pavimentos isolados com CELULITE no edifício da Comp.ª de Seguros Fidelidade — P. das Águas Livres — Lisboa

SETH, LDA. • RUA FILIPE FOLQUE, 10-1.° • TEL. 73 01 56 — LISBOA

Para impermeabilizar terraços,
paredes, fundações, etc.

COLAGEM DE
TACOS DE MADEIRA

TELEF. 73 0156 TELEG. EPALDA — LISBOA

EMPREZA DE PRODUCTOS ASFÁLTICOS
IMPERMEABILISADOR
IMEPA
RUA FILIPE FOLQUE, 10-1.º - LISBOA

FÁBRICA EM SACAVÉM

Comunicações

equipamentos
e sistemas completos

- Cuidadosamente projectados
- Amplamente experimentados
- Completamente integrados

THE TECHNICAL MATERIEL CORPORATION

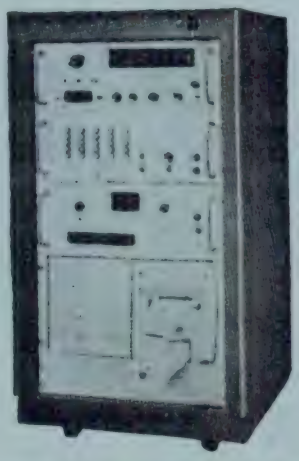
HEWLETT hp PACKARD

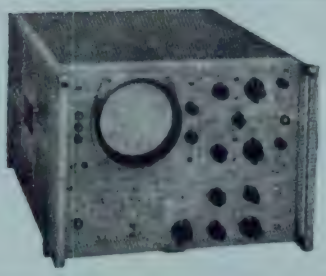
aparelhagem electrónica de medida e registo

Osciloscópios, Oscilógrafos, Voltímetros electrónicos, Geradores de sinal, Contadores electrónicos, Registadores digitais, Fontes de alimentação

Registador Sanborn

Registador digital Dymec





Osciloscópio HP

Contador Electrónico HP

TELECTRA EMPRESA TECNICA DE EQUIPAMENTOS ELECTRICOS, S.A.R.L.

ATELIERS DE CONSTRUCTION OERLIKON

Disjuntor de pequeno volume de óleo tipo MS

Seguro
Compacto
Manutenção mínima

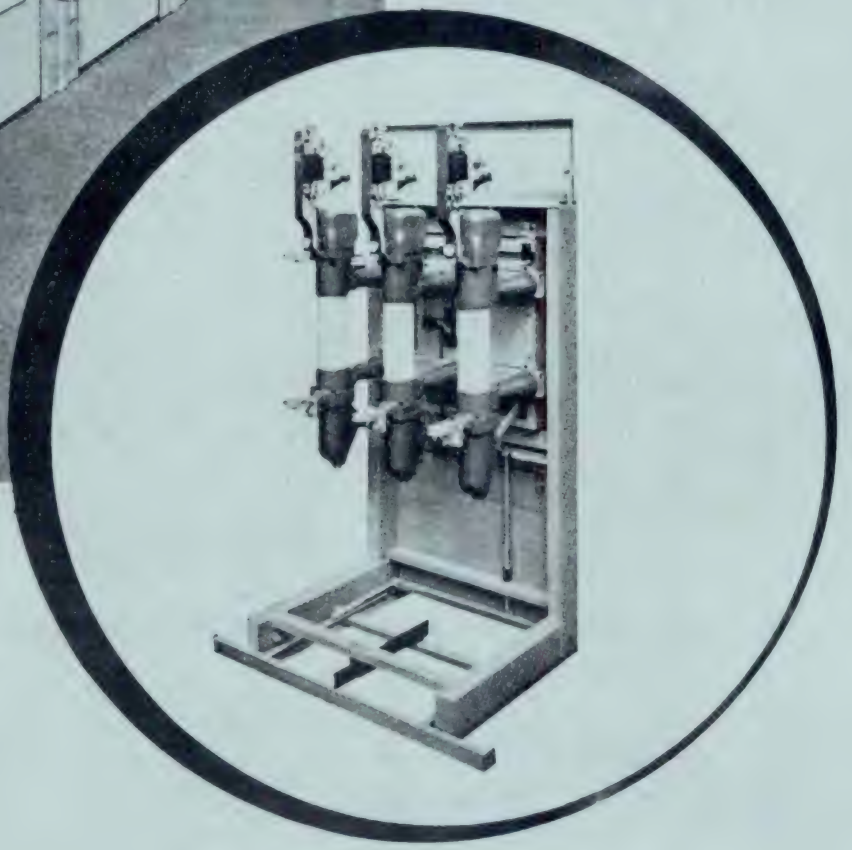
Comando por molas com carga por manivela ou motor

Disjuntor e comando previstos para reengate rápido

Disjuntor extractível sobre carro ou fixo sobre ferragens

Caixa de comando achatada portanto fácil inspecção; parede frontal lisa à face do quadro

Preço e prazo de entrega reduzidos



Tipos	MS 12.6	MS 24.6
Tensão nominal	12 kV	24 kV
Potência de corte	250 MVA	400 MVA

Representantes para Portugal e Ultramar: **Sociedade Michaëlis de Vasconcellos, Lda.**

PORTO — P. da Liberdade, 114, 3.° LISBOA — Av. Marquês de Tomar, 94

técnica

NUMERO 357 * ABRIL DE 1966 * ANO XLI * VOL. XXVIII * DIRECTOR: ASSIS FARINHA MARTINS

C. D. U. 378.003.1.009

ENSINO*

por ANTÓNIO GOUVÊA PORTELA
Prof. I. S. T.

RESUMO

O presente artigo discute a educação em geral e a Universidade em particular, como órgãos de um corpo sócio-económico.

SYNOPSIS

The present article discusses education in general and university in particulary, as organs of a socio-economic bedy.

1 — INTRODUÇÃO

A matriz biológica dum povo gera incessantemente novos seres humanos que devem, a seu tempo, ser preparados para viver na «Sociedade Moderna» complexa e multiforme.

Para o efeito foi necessário criar e desenvolver um «Sistema» de conseguir, aceleradamente, a referida preparação, ao qual se deu a denominação de Ensino.

Este «Sistema» é susceptível de ser apreciado segundo vários critérios, nomeadamente:

Capacidade — que mede o número de indivíduos que pode processar em cada nível.
Qualidade — avaliada pela conformidade com a norma que caracteriza um certo nível de ensino.
Eficiência — mensurável por meio de vários coeficientes e medidas, tais como:

— Custo de ensinar um indivíduo médio.
— Relação do número de indivíduos nos corpos docentes e discentes.
— Capital investido em estabelecimentos de ensino por indivíduo ensinado.
— Tempo consumido para atingir determinado grau de preparação, etc., etc.

Potência — que mede o esforço duma Nação em relação ao ensino; apreciado por vários critérios, nomeadamente, o número de indivíduos discentes e docentes em relação à população total, etc., etc.

Cobertura — que observa a escola segundo a óptica da maior ou menor profundidade de ensino nos diversos ramos de conhecimento humano. Com efeito, é raro o país onde o ensino cobre igualmente bem todos os domínios.

---

* Introdução ao Colóquio Sobre Ensino, realizado na II Semana de Engenharia Mecânica em Abril de 1966.

O objectivo desta enumeração é relembrar alguns critérios de apreciação do ensino todos eles lançando luz sobre certa faceta deste complexo problema, embora nenhum conseguindo iluminá-lo completamente.

2 — O ENSINO E A VIDA EM SOCIEDADE

O Ensino prepara para a Vida em Sociedade e quanto mais complexa for essa vida, tanto mais prolongado e eficiente terá de ser o ensino.

O Progresso duma Sociedade Moderna está tributário do nível educacional dos seus componentes.

A educação tem de atingir todos por três razões fundamentais:

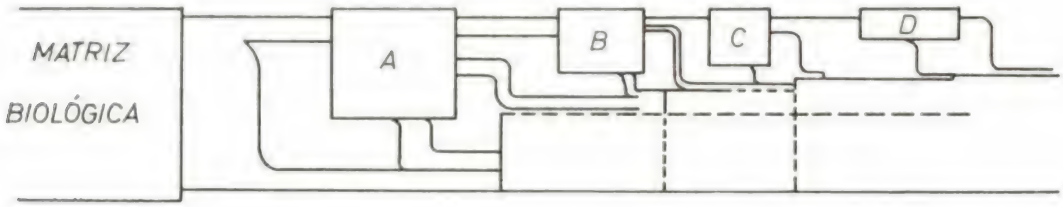
a) Para elevar o nível médio educacional do povo.
b) Para reduzir a tensão social interna que resulta de estratos populacionais com níveis educacionais muito afastados.
c) Para detectar, relacionar e educar aquele pequeno grupo de indivíduos particularmente dotados para a Ciência, as Letras, as Artes, de que nenhum povo é suficientemente rico para os perder ou menosprezar.

Assim, hoje procura-se em todo o mundo que o ensino chegue a todos e a todos se dê igual oportunidade de a ele aceder.

Tem interesse representar por uma série de figuras a evolução do ensino neste último século.

a) Há um século.
b) Actualmente em países em vias de desenvolvimento.
c) Actualmente em países evoluídos.
d) Futuro próximo.

a) Há um século

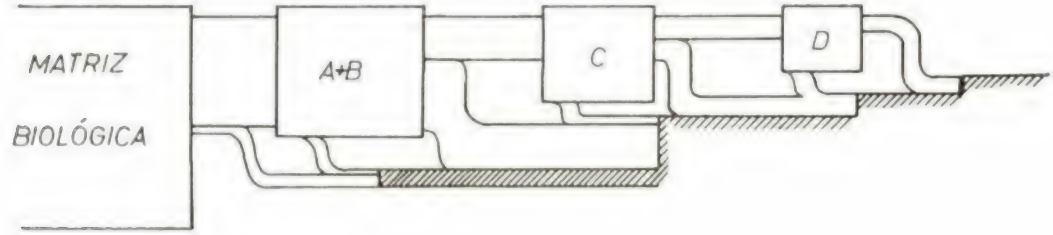


A maioria dos seres nascidos não sofriam o benefício do ensino e era a sociedade que realizava o seu ajustamento. Pode dizer-se que o ónus do ensino cabia sobretudo às actividades económicas.

Em contrapartida os indivíduos entravam em «produção» desde tenra idade.

A actividade económica, sobretudo actividade caseira, ia «extraindo» produção à medida que «ensinava».

b) Actualmente em países em vias de desenvolvimento.



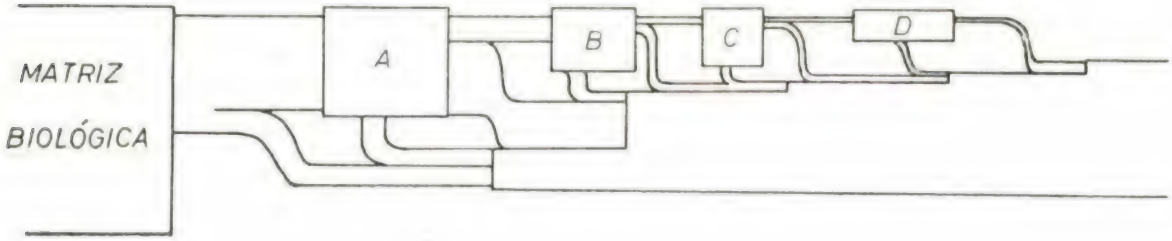
O espectro da população activa, consequente deste modelo de ensino já é melhor porque reduziu-se, se não extinguiu-se o indivíduo que não possuiu o grau A de ensino.

O saber ler e escrever resolve o primeiro problema da Sociedade Moderna — a comunicação simbólica — por oposição à comunicação oral.

Um país industrializado não pode ser concebido nem realizado sem que todos os seus habitantes dominem os meios de comunicação simbólica.

Note-se ainda que os indivíduos são lançados nas actividades produtivas cerca de 5 anos mais tarde do que no esquema anterior, porém muito melhor formados.

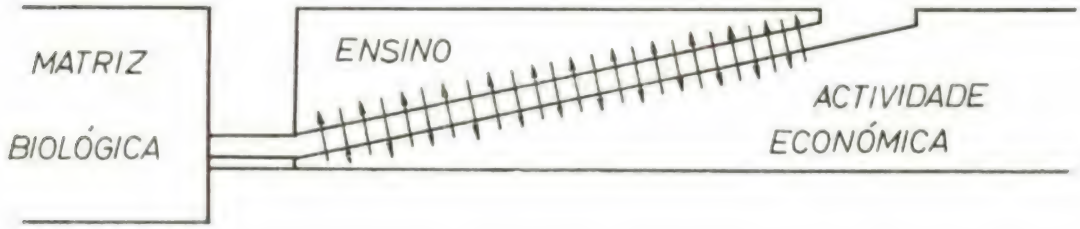
c) Actualmente em países evoluídos



Nestes países os níveis A e B estão fundidos de modo a que não são lançados indivíduos na produção senão após uma preparação formal já razoável.

Esta massa de gente sente contudo necessidade de ser *activa* sobretudo para angariar algum dinheiro (*) e por isso a Sociedade Moderna tem procurado encontrar funções que possam ser cumulativamente realizadas sem prejuízo do ensino.

d) Futuro próximo em países evoluidos



O ensino e a actividade económica vão dividir a tarefa entre si segundo uma fronteira cada vez menos definida.

Poderá figurar-se a repartição do esforço com a representação gráfica acima indicada.

Um progressivo enclavinhamento entre a escola e as actividades económicas com forte interacção recíproca e modificações estruturais caracterizará a evolução do ensino no futuro próximo.

Ao ensino caberá sobretudo a formação e às actividades económicas a informação.

3 — O ENSINO E A EVOLUÇÃO DA VIDA EM SOCIEDADE

A vida activa de um indivíduo anda por 45 a 50 anos, mas evoluindo ràpidamente o modo de viver em Sociedade resulta que constitui um problema palpitante, evitar a obsolescência funcional dos indivíduos que formam a Sociedade Moderna.

(*) E assim adquiriu um certo grau de independência preparatório para uma maioridade já próxima.

Este envelhecimento prematuro toma duas formas:

a) O indivíduo dispõe dum nível educacional que, na época em que o adquiriu, era razoàvelmente elevado e suficientemente raro para constituir uma vantagem apreciável na luta da vida.

Decorridos porém 10, 20 ou 40 anos, esse nível ou grau educacional está tão generalizado que já não confere qualquer protecção ou previlégio a quem o possui.

b) O nível educacional é ainda elevado e talvez raro (como sucede com o grau universitário) mas os conhecimentos e a formação porventura muito actualizada na altura da obtenção do grau referido, estão completamente envelhecidos e obsoletos se apreciados pelas normas presentes.

É mister dar solução a estes dois problemas:

Relativamente ao primeiro problema é imprescindível encontrar meios de facilitar o acesso a níveis superiores de ensino a indivíduos que já fazem parte das forças produtivas duma nação.

Cursos que possam ser frequentados e níveis que possam ser atingidos, sem que o indivíduo necessite de se retirar da vida económica activa, quer porque seria, para ele, difícil essa retirada se vive do seu trabalho, quer porque o País não pode dispensar o esforço desses indivíduos.

Acodem ao espírito soluções tais como:

Cursos livres, por correspondência nocturnos, intercalares, etc.

No domínio de engenharia, este problema toma uma grande acuidade. Na verdade, todo o agente técnico que assim o desejasse, devia poder frequentar um curso, nocturno, por correspondência ou com qualquer outra forma conveniente, na universidade fazendo nela exames de modo a obter o seu diploma de engenheiro, sem que para tal se veja forçado a retirar-se parcial ou totalmente da vida profissional.

Para o problema referido em segundo lugar, haverá que criar cursos de refrescamento sob várias formas que premitam uma actualização e um relembrar de fundamentos mantendo moderna a formação básica do profissional.

Por outro lado cursos ad hoc, subvencionados pelas actividades económicas, complementariam a actualização desejada.

4 — ORGÂNICA DO ENSINO

O ensino, como qualquer outra empresa humana, é efectuado por meio de homens constituindo um corpo colectivo — o corpo docente.

A qualidade do ensino está ligada à qualidade do corpo docente, primeiro e aos meios materiais em segundo lugar.

A segregação e manutenção dos corpos docentes é o *problema maior* do ensino.

Depois vem o meio de *amplificar* o rendimento do ensino, ou seja o *auditório* de um determinado corpo docente.

Tratemos do corpo docente em primeiro lugar (limitar-nos-emos a uns comentários à universidade).

É usual ouvir-se dizer que os professoree e assistentes que formam um corpo docente devem ter estas ou aquelas características como se fosse possível ou desejável a existência de um professor padrão, quando justamente o ensino, sendo uma prefiguração da vida em Sociedade, deve oferecer ao elemento discente uma colecção de professores e assistentes com características distintas e diversas.

Assim são de banir conceitos singelos como os referidos abaixo.

a) Os professores devem ser indivíduos com prática industrial — não, um elenco docente só será equilibrado se nele existirem professores com vasta preparação e tendência teórica, outros com experiência laboratorial, outros ainda com experiência industrial.

b) Os professores devem ser de tempo inteiro — não, deverá haver professores que, a circunstância de trabalharem profissionalmente na indústria, na investigação aplicada, etc., lhes confere interesse e os mantém actualizados e que ensinam como função complementar.

Mas num corpo docente deverá existir um núcleo importante de professores e assistentes de tempo inteiro para se ocuparem dos Laboratórios de investigação, dos problemas de pedagogia e das cadeiras básicas, etc.

É evidente que os vencimentos também não deverão ser uniformes e um professor de tempo inteiro deverá receber mais do que um de tempo parcial.

c) Os assistentes devem todos fornecer 12 horas semanais de trabalho — também não, porque muitos assistentes estão em vias de especialização (doutoramento, etc.) e só numa cadeira, com 2 ou 4 horas semanais. são efectivamente proficientes e é prejudicial ocuparem-se nas restantes 10 ou 8 horas semanais com disciplinas que não interessam à sua especialização nem ao seu espírito; poderão esses assistentes ocupar-se em tempo inteiro nos laboratórios ou em investigação teórica.

Novamente os vencimentos devem ser diferenciados.

E assim sucessivamente.

Em resumo um corpo docente bem equilibrado deve ser constituído por elementos de várias matizes, como por exemplo:

a) — Essencialmente dirigidos à pedagogia, à investigação ou às aplicações económicas e práticas.

b) — Trabalhando para o ensino em tempo inteiro, professores e assistentes, pedagogos e investigadores.
— Trabalhando em tempo parcial professores e assistentes de matérias de aplicação industrial, por exemplo.

c) — Essencialmente teóricos e especulativos.
— Essencialmente experimentais.
— Essencialmente práticos, etc., etc.

O que se deseja é um harmonioso equilíbrio destas várias características.

Além do corpo docente ligado à escola duma forma permanente deverão promover-se lições e conferências de especialistas, cientistas e homens práticos cada um trazendo o seu contributo ao ensino.

5 — MEIOS MATERIAIS

O ensino tem hoje exigências materiais de muita monta e o de engenharia é dos mais dispendiosos.

Para que o ensino não degenere em simples conhecimentos memorizados para realizar o exame, é necessário dispor:

— Por um lado de Laboratórios de investigação e ensaio, centros de cálculo, etc.
— Por outro de equipamento industrial afeiçoado à escola.

O capital a investir nesses meios e os gastos a efectuar para operar com eles são elevados, mas imprescindíveis.

Imprescindíveis para: alunos, professores e assistentes.

Tem talvez mais interesse discorrer sobre a segunda proposição porque parece menos óbvia.

Se há indivíduos num país que necessitam estar actualizados, esses são os professores universitários.

Para aqueles, em geral em tempo parcial, onde o vínculo com a indústria é forte pode ainda a concorrência nacional e internacional forçá-los a uma permanente actualização.

Mas para o professor investigador ou pedagogo, a tempo inteiro, a existência dum laboratório da sua especialidade na sua universidade é condição sine qua non para a sua regular e constante actualização.

Porque, nos países em vias de evolução, não é fácil dispor de laboratórios especializados, convém encontrar fórmulas que dêem a esses laboratórios estatutos de independência sobretudo financeira suficiente, em termos de estes operarem em conjugação com as escolas universitárias de modo a professores, assistentes e alunos deles beneficiarem.

A estes laboratórios poderá recorrer a indústria levando-lhes problemas e contribuição financeira e assim inserindo-os na actividade económica da nação.

6 — VELOCIDADE DE ADAPTAÇÃO DA ESCOLA

O ensino, sobretudo o que está ligado ao conhecimento científico, à Natureza, está em constante e profunda remodelação.

A *reforma do ensino* é um processo moroso porque não é continuado e ou bem que se verificava uma reforma todos os anos ou então por largos períodos o ensino permanece desactualizado.

A solução está antes na delegação de mais poderes nas reitorias e nas direcções das escolas de forma a permitir uma mais rápida evolução.

A lei deverá limitar-se à declaração de princípios normativos deixando a sua pormenorização a um debate e resolução no seio da universidade e conselhos escolares.

Em resumo, uma maior delegação de poderes daria maiores possibilidades ao Reitor de gerir a Universidade e ao Director de administrar a sua Escola.

Por outro lado há que instituir meios de consulta sistemática às actividades económicas.

Cada escola devia ter a possibilidade de dispor de representantes de antigos alunos e hoje profissionais ocupados na actividade económica, de modo a permitir à escola o acesso à informação e opinião desses sectores a repeito da preparação que dá aos seus alunos.

A escola não opera no vazio e toda a função tem de ser coordenada com as funções que lhe antecedem e sucedem.

Esta permuta de informações é essencial e, em geral, os homens comportam-se correctamente se a informação também é correcta.

C. D. U. 62.313.2/.3.015/.016

AS EQUAÇÕES FUNDAMENTAIS DAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS

por ROGÉRIO MARTINS
1.º Assist. I. S. T.

RESUMO

Recorrendo a duas equações fundamentais, deduzem-se as equações gerais da tensão e do momento das máquinas eléctricas, particularizando-as em seguida para as máquinas sínerona, assíncrona e de corrente contínua.

SYNOPSIS

General equations of voltage and torque of electrical machines are deduced from two fundamental equations and the particular form they assume for synchronous, assychronous and d.c. machines is given.

Nos anos lectivos 1963/64 e 1964/65 (e já antes parcialmente em 1960/61), foi-me dado o encargo da regência do Curso Geral de Máquinas Eléctricas. Desejando evidenciar a profunda unidade de natureza destas máquinas, pareceu-me conveniente mostrar com que simplicidade se deduzem, de dois princípios gerais, as fórmulas fundamentais de todas elas; ao debruçarem-se posteriormente sobre os pormenores de funcionamento de cada uma, os alunos tinham de antemão recebido uma visão de conjunto que se revelava muito vantajosa. É uma sucinta exposição desta experiência pedagógica o presente artigo. Embora nele haja certa divida aos expositores clássicos germânicos, como Bodefeld-Sequenz e Küpfmüller, os familiares destes autores fàcilmente reconhecerão o inédito deste tratamento.

1. OS DOIS PRINCÍPIOS GERAIS DAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS

1.1 — Primeiro princípio, ou da tensão

A lei da indução electromagnética

$$e = \oint (\overline{E}, \overline{ds}) = -\frac{d\Phi}{dt} \qquad (1)$$

exige, para que apareça tensão eléctrica e induzida num circuito que o fluxo magnético Φ através da respectiva superfície se apresente variável, o que poderá suceder por não ser estacionário o campo magnético, e ou por existir entre ambos um movimento relativo. Este, dada a imposição de se minimizar o volume ocupado pela máquina, é forçosamente de rotação, sendo pois o parâmetro definidor da posição do circuito eléctrico relativamente a uma direcção característica do campo um ângulo, α, função do tempo segundo as características do movimento

$$\alpha = 2\pi \int n\, dt \qquad (2)$$

sendo n a velocidade, em princípio variável.

Tem-se pois, $\Phi = \Phi(\alpha, t)$, o que leva a escrever (1) como segue:

$$e = -\frac{\partial \Phi}{\partial \alpha} \cdot \frac{d\alpha}{dt} - \frac{\partial \Phi}{\partial t} \qquad (3)$$

ou, tomando em atenção (2),

$$e = -2\pi n \frac{\partial \Phi}{\partial \alpha} - \frac{\partial \Phi}{\partial t} \qquad (4)$$

que é a *primeira equação geral* das máquinas eléctricas.

1.2 — Breve classificação das máquinas eléctricas

A equação (4) permite uma visão sistematizadora geral:

a) Se $\frac{\partial \Phi}{\partial \alpha} = 0$, a máquina é estática; trata-se do transformador, com a equação da tensão reduzida a

$$e = -\frac{\partial \Phi}{\partial t} \qquad (4a)$$

b) Se $\frac{\partial \Phi}{\partial \alpha} \neq 0$, trata-se de máquinas rotativas; e ou a segunda parcela não é nula, ou é.

b1) O primeiro caso, $\frac{\partial \Phi}{\partial t} \neq 0$, correspondente a um campo magnético indutor variável em relação a um referencial solidário com uma sua direcção característica (por exemplo, um eixo de simetria da distribuição do vector indução), não é conhecido nos três tipos de máquinas rotativas mais largamente utilizados senão em estados transitórios de funcionamento (máquina sincrona, máquina assíncrona, máquina de corrente contínua).

b2) Em regime permanente tem-se $\frac{\partial \Phi}{\partial t} = 0$, o fluxo estacionário, e a equação da tensão fica reduzida a

$$e = -2\pi n \frac{\partial \Phi}{\partial \alpha} \qquad (4\,b)$$

Neste caso vários critérios podem adoptar-se para prosseguir a classificação, conforme a perspectiva didática escolhida. A partir do modo como é produzido o fluxo indutor, por exemplo; o que permite distinguir as máquinas usando corrente contínua como indutora (máquina sincrona, máquina de corrente contínua), e as usando corrente alternada (máquina assíncrona).

Ou a partir do movimento, em relação ao referencial do estator, do campo indutor e do circuito induzido: máquinas de campo fixo e circuito induzido móvel (máquina síncrona da zona das pequenas potências, máquina de corrente contínua de tipo clássico ou de tipo disco para servo-motores), máquinas de campo móvel e circuito induzido fixo (máquina síncrona da zona de grandes potências), máquinas de campo móvel e circuito induzido móvel (máquina assíncrona). Sublinhar-se-á pedagógicamente que todos estes critérios provêm da diversidade de soluções construtivas, que por eles se pretendem sistematizar; destaca-se a validade da equação (4b) para todas essas soluções.

1.3 — Segundo princípio, ou do momento

No caso das máquinas rotativas, o princípio da conservação de energia exige que a energia posta em jogo do ponto de vista mecânico iguale a posta em jogo do ponto de vista eléctrico.

A primeira é

$$dW = M \,.\, d\alpha \qquad (5)$$

sendo M o momento da máquina, e dW a energia associada a uma rotação elementar $d\alpha$ do seu rotor.

A segunda é

$$dW = e.i.dt \qquad (6)$$

sendo *e i* a potência eléctrica da máquina no instante considerado.

Admitindo a estacionaridade do fluxo indutor, isto é, a validade de (4 b), a igualdade

$$M \,.\, d\alpha = e.i.dt \qquad (7)$$

leva a

$$M = -\,i\,\frac{\partial \Phi}{\partial \alpha} \qquad (8)$$

que é a *segunda equação geral* das máquinas eléctricas, válida quer para o funcionamento como geradoras quer como motores, e notando-se que, se *e* é a tensão da máquina, $\frac{\partial \Phi}{\partial \alpha}$ corresponde ao conjunto das espiras que para ela contribuem.

2. APLICAÇÃO DOS PRINCÍPIOS GERAIS PARA DEDUÇÃO DAS EQUAÇÕES PRÓPRIAS DOS TRÊS TIPOS PRINCIPAIS DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS

Supõe-se conhecida a forma de distribuição do campo magnético ao longo do entreferro de cada uma das máquinas, incluindo o caso particular de formação do campo girante na assíncrona, bem como as particularidades construtivas essenciais, incluindo a função do colector como elemento comutador na máquina de corrente contínua.

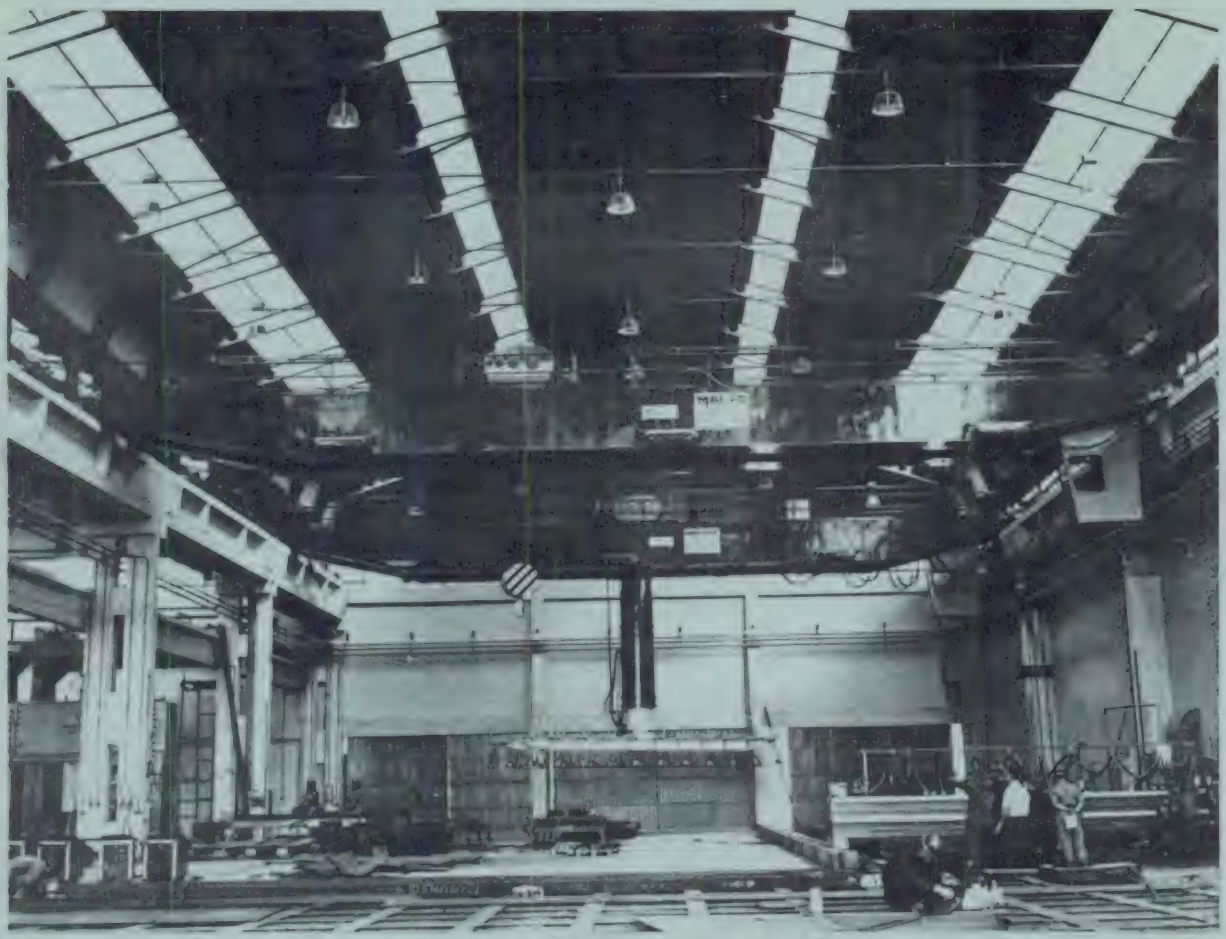
Daí saber-se que, admitindo uma distribuição sinusoidal do campo e para bobines cujos condutores estão afastados um passo polar, a variação do fluxo com o ângulo de posição é

$$\Phi = \Phi_M \cos \alpha \qquad (9)$$

sendo Φ_M o fluxo máximo.

A equação (4b) permite escrever, em face disso, que, nessas hipóteses e em qualquer das má-

MAGUE



"ESTALEIRO DA LISNAVE - MARGUEIRA
Pontes rolantes eléctricas de 15t/25, 15m e 10t/25, 15 m, esta equipada com electro ímans.
Projecto e construção MAGUE
Estruturas metálicas fabricadas na LISNAVE".

PONTES ROLANTES, GUINDASTES E APAR. DE ELEVAÇÃO ESPECIAIS — *Projecto e fabrico*
TURBINAS HIDRÁULICAS — *Fabrico segundo licença de A. C. M. de Vevey, S. A.*
TURBINAS A VAPOR — *Fabrico segundo licença de Brown Boveri, Cie.*
CALDEIRAS A VAPOR — *Projecto e fabrico segundo licença de Foster Wheeler, Co.*

EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS

CONSTRUÇÕES METALOMECANICAS **MAGUE** S.A.R.L

ALVERCA DO RIBATEJO — PORTUGAL

TRANSFORMADORES DE SOLDADURA

MODELO PORTÁTIL

25 Kg

CORRENTE DE SOLDADURA

REGULÁVEL DE

55 a 160 A

(8 posições)

Dimensões:

360 x 200 x 410 mm

EFACEC

EFACEC

quinas (com um único par de polos) a tensão induzida por espira tem a expressão

$$e = 2\pi n \, \Phi_M \operatorname{sen} \alpha \qquad (10)$$

2.1 — Tensão da máquina síncrona

As z espiras por fase desta máquina estão ligadas em série, colocadas em q das m cavas por polo e por fase disponíveis.

Dada a desfasagem que as tensões induzidas em cada uma das z espiras apresentam mùtuamente, a tensão soma obtém-se afectando o produto ze pelo coeficiente $u < 1$ de utilização, que se obtém fàcilmente por métodos vectoriais sendo

$$u = \frac{\operatorname{sen} \frac{q\pi}{2m}}{q \operatorname{sen} \frac{\pi}{2m}} \qquad (11)$$

Dado que há p pares de polos, a equação de valores instantâneos da tensão por fase desta máquina é portanto (a menos um ajuste da desfasagem), o produto da equação (10) pelos factores zup, ou seja:

$$e = 2\pi \, n \, p \, z \, u \, \Phi_M \operatorname{sen} \omega t \qquad (12)$$

Para obter o valor eficaz desta tensão levanta-se o problema da forma da curva $\Phi(\alpha)$, dependente da distribuição real do campo magnético no entreferro, provàvelmente afastando-se da sinusoide, bem como o facto dos condutores das bobines não estarem exactamente afastados de um passo polar. Chamando k o factor corretivo tomando em consideração estas circunstâncias, virá, após multiplicação do factor constante de (12) por $k/\sqrt{2}$, a expressão do valor eficaz:

$$E = \pi \sqrt{2} \, n \, p \, z \, k \, u \, \Phi_M \qquad (13)$$

2.2 — Tensão da máquina assíncrona

A característica distintiva desta máquina em relação à anterior, sendo que a frequência no induzido se obtém da do indutor pelo produto do factor s, escorregamento, leva a permitir escrever a equação de valores instantâneos da tensão induzida a partir de (12) tomando simplesmente esse factor em conta:

$$e = 2\pi n \, ps \, zu \, \Phi_M \operatorname{sen} s\omega t \qquad (14)$$

e portanto a equação do valor eficaz da tensão, dado que problemas construtivos idênticos se encontram:

$$E = \pi \sqrt{2} \, n \, p \, s \, z \, k \, u \, \Phi_M \qquad (15)$$

2.3 — Tensão da máquina de corrente contínua

O sistema de escovas e colector põe em série, numa máquina com um par de circuitos derivados e um par de polos, todos os condutores (semi-espiras) de cada semicírculo por seu lado, isto é, metade do número total m. O ângulo entre condutores é

$$\varphi = \frac{2\pi}{m} \qquad (16)$$

Tome-se para origem dos ângulos a linha neutra; a espira, na zona de comutação, está em contacto através das suas lâminas de colector com as escovas entre as posições $-\frac{\varphi}{2}$ e $+\frac{\varphi}{2}$; num dado instante, a sua posição será

$$-\frac{\varphi}{2} < \xi < \frac{\varphi}{2}. \qquad (16b)$$

A tensão de máquinas é a soma das tensões induzidas em cada espira; isto é, e lembrando que (10) se aplica:

Ordem da espira	Posição	Tensão
$i = 1$	$\alpha = \xi$	$e_1 = 2\pi n \Phi_M \operatorname{sen} \xi$
$i = 2$	$\alpha = \xi + \varphi$	$e_2 = 2\pi n \Phi_M \operatorname{sen} (\xi + \varphi)$
$i = 3$	$\alpha = \xi + 2\varphi$	$e_3 = 2\pi n \Phi_M \operatorname{sen} (\xi + 2\varphi)$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$i = \frac{m}{2}$	$\alpha = \xi + \left(\frac{m}{2} - 1\right)\varphi$	$e_{\frac{m}{2}} = 2\pi n \Phi_M \operatorname{sen} \left[\xi + \left(\frac{m}{2} - 1\right)\varphi\right]$

ou seja,

$$E = \Sigma e_i = 2\pi n \Phi_M \left[\operatorname{sen} \xi + \operatorname{sen}(\xi + \varphi) + \ldots + \right.$$

$$\left. + \operatorname{sen}\left[\xi + \left(\frac{m}{2} - 1\right)\varphi\right]\right] \qquad (17)$$

Ora uma conhecida transformação trigonométrica permite escrever (17) como segue:

$$E = 2\, n \pi \Phi_M \,.$$

$$\frac{\operatorname{sen}\left[\xi + \frac{\varphi}{2}\left(\frac{m}{2} - 1\right)\right] . \operatorname{sen}\left(\varphi \frac{m}{4}\right)}{\operatorname{sen}\frac{\varphi}{2}} \qquad (18)$$

Em face de (16) o último factor do numerador é igual à unidade, e vem

$$E = 2\pi n \Phi_M \frac{\operatorname{sen}\left[\xi + \frac{\varphi}{2}\left(\frac{m}{2} - 1\right)\right]}{\operatorname{sen}\frac{\varphi}{2}} \qquad (18a)$$

Esta expressão pode escrever-se ainda

$$E = 2\pi n \Phi_M \left[\cos\xi . \operatorname{cotg}\frac{\varphi}{2} + \operatorname{sen}\xi\right] \qquad (18b)$$

Como o ângulo φ é muito pequeno, pode fazer-se

$$\operatorname{tg}\frac{\varphi}{2} = \frac{\varphi}{2} = \frac{\pi}{m} \qquad (19)$$

o que traz, tomando além disso em conta que no caso geral a máquina terá p pares de polos e c pares de circuitos derivados,

$$E = 2\, n\, \Phi_M \frac{p}{c}\left[m \cos\xi + \pi \operatorname{sen}\xi\right] \qquad (20)$$

Esta é pois a expressão exacta da tensão da máquina de corrente contínua.

Dado que o ângulo ξ é muito pequeno, Cf. (16 b), cos ξ oscila próximo da unidade e sen ξ próximo de zero; a primeira parcela de (20) aproxima-se de uma recta, a segunda sobrepõe-lhe uma ligeira tremulação.

Considerando aproximadamente ξ nulo, vem

$$E = 2\, n\, \Phi_M\, m \frac{p}{c} \qquad (20a)$$

a fórmula habitual, tanto mais válida quanto maior for o número de condutores m.

2.4 Momento da máquina síncrona

Para aplicação da equação geral (8) note-se que a corrente do induzido é nesta máquina alternada sinusoidal.

$$i = I \operatorname{sen} \omega_1 t \qquad (21)$$

e que a variação do fluxo indutor se deduz da expressão da tensão (12) igualando-a a (4b):

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \alpha} = - p\, z\, u\, \Phi_M \operatorname{sen} \omega_2 t \qquad (22)$$

A equação (8) mostra que

$$M = p\, z\, u\, I\, \Phi_M \operatorname{sen} \omega_1 t . \operatorname{sen} \omega_2 t \qquad (23)$$

isto é

$$M = \frac{1}{2} p\, z\, u\, I\, \Phi_M \left[\cos(\omega_1 - \omega_2)\, t - \right.$$

$$\left. - \cos(\omega_1 + \omega_2)\, t\right] \qquad (23a)$$

Desta expressão do momento de máquina síncrona se deduz que, sempre que $\omega_1 \neq \omega_2$, o seu valor médio é nulo; a máquina não tem momento útil fora do sincronismo, e incidentalmente não terá também momento de arranque.

Estabelecido o sincronismo, $\omega = \omega_1 = \omega_2$, e sendo φ a desfasagem entre a corrente I e o fluxo Φ_M, vem

$$M = \frac{1}{2} pzu\, I \Phi_M \left[\cos\varphi - \cos(2\omega t + \varphi)\right] \qquad (24)$$

cujo valor médio é diferente de zero e igual a

$$M = \frac{1}{2} p\, z\, u\, I\, \Phi_M \cos\varphi \qquad (25)$$

expressão do momento da máquina síncrona.

No caso da máquina trifásica, tal como a tensão que se considera é a tensão por fase, assim o é correspondentemente o fluxo Φ_M, donde aparecer, na expressão de M, o factor 3 resultante da soma dos momentos parcelares devidos a cada enrolamento de fase.

$$M = \frac{3}{2} p\, z\, n\, I\, \Phi_M \cos\varphi \qquad (25a)$$

2.5 — Momento da máquina assíncrona

A dedução a partir de (8) segue um processo inteiramente análogo ao da máquina síncrona, com $\frac{\partial \Phi}{\partial \alpha}$ obtido pela igualização das expressões (4b) e (14). Formalmente, a única diferença para as expressões da máquina sincrona reside na presença do factor s; assim, a expressão do valor médio do momento da máquina asincrona trifâsica vem

$$M = \frac{3}{2} \, p \, z \, u \, s \, I \Phi_M \cos \varphi \qquad (26)$$

2.6 — Momento da máquina de corrente contínua

A partir de (20a), igualando a (4b), tem-se que

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \alpha} = - \frac{p}{\pi c} \, m \, \Phi_M \qquad (27)$$

De acordo com a segunda equação geral, (8), o momento será

$$M = \frac{p}{\pi c} \, . \, m \, \Phi_M \, I \qquad (28)$$

3. CONCLUSÃO

Recorrendo a duas equações gerais, deduzem-se com simplicidade as equações principais das máquinas eléctricas; da equação da tensão, a primeira, na forma (4b), deduziu-se (13) para a máquina sincrona, (15) para a asincrona e (20a) para a de corrente contínua; da segunda equação, ou do momento, (8), deduziu-se respectivamente, para cada um desses tipos de máquinas, (25), (26) e (28).

À elegância com que sublinha a íntima conexão de todos os tipos de máquinas, o método alia o rigor das expressões a que conduz.

C. D. U. 621.311.5/94

ELEMENTOS SOBRE A PRODUÇÃO E O CONSUMO DE ENERGIA NA REDE ELÉCTRICA NACIONAL (*)

I — Breve nota mensal

Aa precipitações registadâs durante o mês de Março foram muitíssimo inferiores aos valores normais. A precipitação registada nas Penhas Douradas, uma das mais elevadas verificadas durante o mês em toda a rede de postos do Serviço Meteorológico Nacional, foi apenas de 6 mm, valor este inferior em 232 mm ao normal.

Embora as precipitações tenham sido extremamente reduzidas, o coeficiente de produtibilidade hidroeléctrica do mês de Março foi de 0,81, tendo as respectivas afluências uma probabilidade de serem excedidas da ordem dos 66 %.

As afluências acumuladas desde o início do ano hidrológico continuam a ser das mais favoráveis de todo o período para que se dispõe de registos, embora tenham deixado de ser as melhores, como sucedia no fim de Fevereiro.

Os descarregamentos, que se vinham verificando, mantiveram-se em algumas albufeiras, durante os primeiros dias do mês.

II — Elementos gerais (GWh)

Acumulados desde 1 de Janeiro

	a) Mensais		Variação
	1965	1966	%
Produção hidraulica (P_h) . . .	963,7	1368,7	+ 42
Produção térmica (P_t)	142,8	0,0	— 100
Produção total (P_T)	1106,5	1368,7	+ 24
Energia recebida de empresas não pertencentes ao RNC (E_r)	11,0	13,9	+ 26
Exportações (Ex)	1,0	0,0	— 100
Importações (I)	60,2	0,0	— 100
Saldo importador (S_I)	+59,2	0,0	— 100
Consumo em bombagem (C_D)(1)	—	46,7	—
Produção para consumos perman. (P_{cp}) (2) . .	1098,5	1111,4	+ 1,2
Produção para consumos não perman. (P_{cnp}) . . .	78,2	224,5	+ 1.87
Total	1176,7	1382,6	+ 17
Coeficiente de hidraulicidade	0,85	1,71	—

NOTAS

(1) Energia consumida em bombagem para armazenamento na Albufeira do Alto Rabagão.

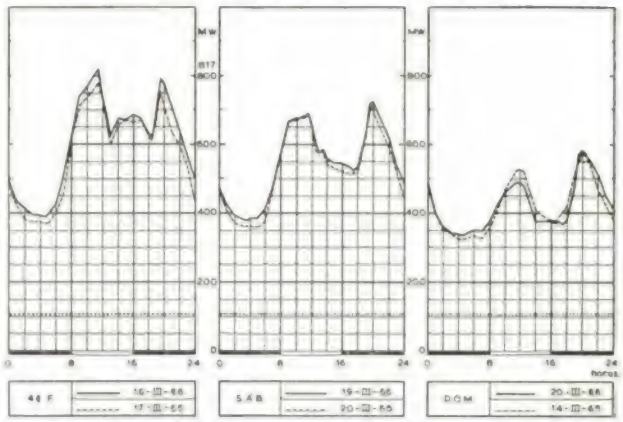
(2) A produção para consumos permanentes (P_{cp}) é determinada pela seguinte expressão: $P_{cp} = P_T + E_r + S_I - C_D - P_{cnp}$

III — Diagramas de carga dos dias característicos

			4.ª feira:	
			1965	1966
Produção hidráulica		(P_h) MWh	14131	16322
Produção térmica		(P_t) MWh	0	0
Produção total		(P_T) MWh	14131	16322
Trocas com Espanha	Export.	(Ex) MWh	0	0
	Import.	(I) MWh	0	0
Consum em bomb. hidroel.		(C_b) MWh	—	1410
Prod. para cons. perm.		(P_{cp}) MWh	11709	12366
Prod. para cons. não perm.		(P_{cnp}) MWh	2122	2526
TOTAL		$P_T + (I - Ex)$ MWh	14131	14912
Características dos diagramas	$P_T + (I-Ex)$	Potência máx. MW	779	817
		Potência mín. MW	373	392
		Utiliz. da ponta horas	18,1	18,3
		Factor de carga	0,75	0,76
	P_{cp}	Potência máx. MW	669	711
		Potência mín. MW	268	286
		Utiliz. da ponta horas	17,5	17,4
		Factor de carga	0,73	0,73

MARÇO

III — Diagramas de carga dos dias característicos



IV — Energia armazenada nas principais albufeiras

Albufeiras:	No fim do mês	
	GWh	% (1)
Alto Rabagão	967,2	99,4
Paradela	220,6	99,1
Venda Nova	123,5	96 5
Salamonde	26,2	94,9
Caniçada	30,9	93,4
Vilar	91,1	98,4
Cabril	302,6	89,2
Castelo do Bode	146,4	89,8
Guilhofrei	6,0	72,3
Lagoa Comprida	23,1 (2)	69,4
Santa Luzia	58,8	95,5
Pracana	10.3	79,8
Póvoa	12,7 (3)	96,2
Total { com A. Rabagão . . .	2019,4	95,8
Total { sem A. Rabagão . . .	1052,2	92,6

NOTAS

(1) Coeficiente de enchimento em energia das albufeiras.

(2) Inclui 3,4 GWh armazenados em Vale do Rossim no início do mês e 2,7 GWh no fim do mês.

(3) Inclui 2,7 GWh armazenados no açude do Poio no início do mês e 2,7 GWh no fim do mês.

(*) *Elementos extraídos das estatísticas mensais do Repartidor Nacional de Cargas (R. N. C.). As produções e os consumos das empresas do R. N. C. representam cerca de 94 % dos totais do País.*

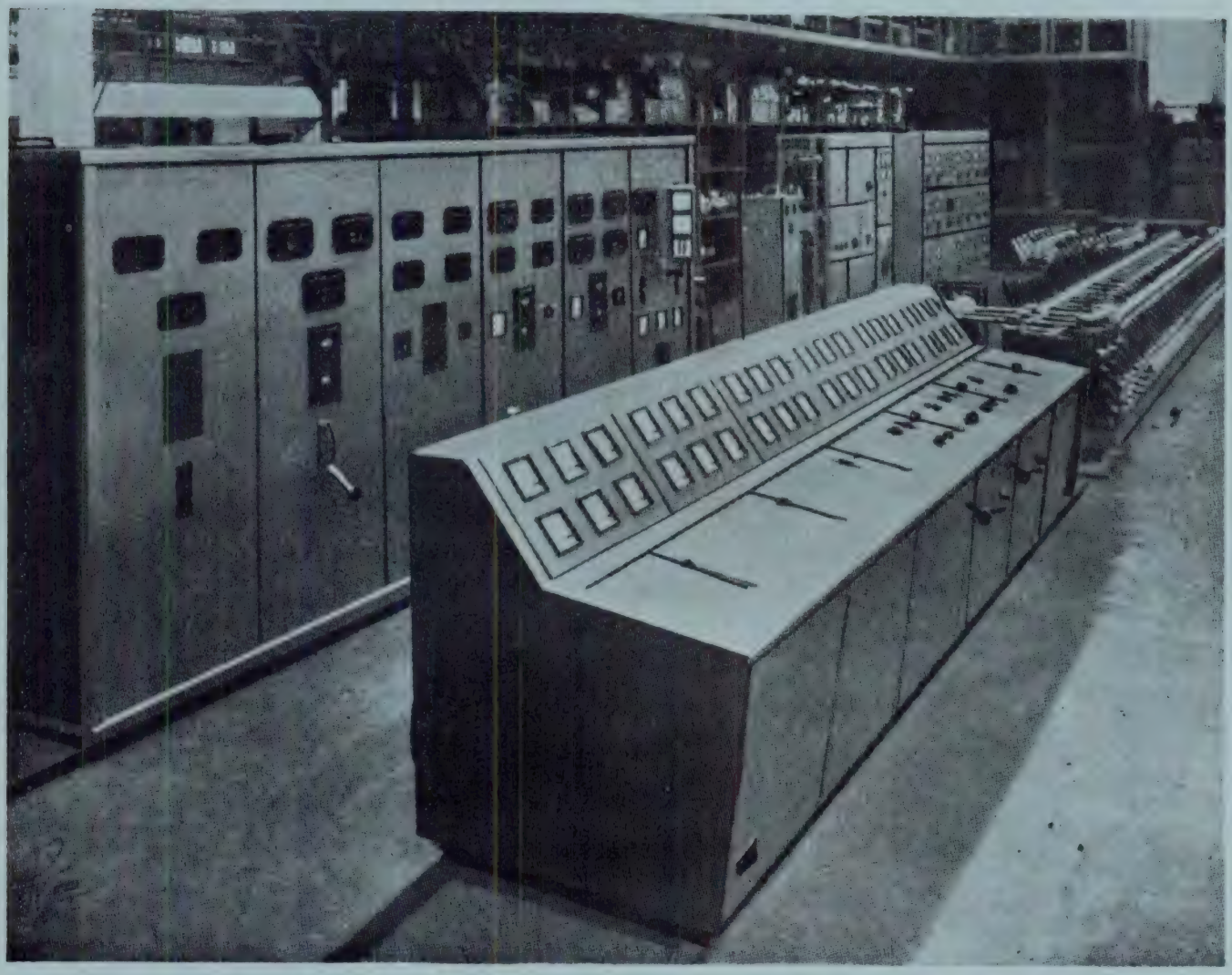
JAYME DA COSTA, L^DA

MECÂNICA E ELECTRICIDADE EM TODAS AS APLICAÇÕES

PORTO
Praça da Batalha, 12
Telef. 2 28 12 (PPC)

LISBOA
Rua dos Correeiros, 14
Telef. 32 70 35 (PPC)

LUANDA
Cx. Postal 5174
Telef. 4743



Material fabricado nas nossas oficinas, pronto para expedição

- Fabricação de aparelhagem eléctrica de alta e baixa tensão
- Equipamentos electromecânicos completos para centrais e fábricas
- Postos de transformação tipo monobloco
- Quadros blindados, capsulados e em armário
- Armaduras de iluminação de todos os tipos
- Contadores eléctricos e instrumentos de medida
- Telemedida e telecomando
- Instalações elevatórias de água
- Instalações de saneamento e esgotos
- Ferramentas de corte
- Motores Diesel industriais e marítimos
- Fogões eléctricos
- Frigoríficos
- Ventilação e condicionamento de ar
- Aparelhagem de Raios X e electromedicina

DESPOEIRAGEM

FILTROS TECIDOS EM PEÇAS, PANOS, SACOS, MANGAS

DE QUALQUER FIBRA NATURAL OU SINTÉTICA

FANAFEL

FÁBRICA NACIONAL DE FELTROS INDUSTRIAIS
SOCIEDADE LIMITADA

APART.: 9
TELEF.: 52093–52094
TELEG.: FELTROS

OVAR
PORTUGAL

ESCRITÓRIO E FÁBRICA
ESTRADA DE S. JOÃO

Empresa Ultramarina de Sondagens e Fundações, L.da

(SONDADORA)

SONDAGENS geológicas e geotécnicas — CAPTAÇÕES de águas subterrâneas — REBAIXAMENTOS do nível freático — CONSOLIDAÇÕES E ESTABILIZAÇÃO do solo — INJECÇÕES DE CIMENTO e outros produtos — INFRAESTRUTURAS de barragens, túneis e pontes — FUNDAÇÕES de todos os tipos

Única Empresa da especialidade com sede no Ultramar Português

DELEGAÇÃO - LISBOA
R.S.Pedro de Alcântara, 1
Tel. 32 46 93 e 21 32 56

SEDE - LUANDA
Rua Serpa Pinto, 60
C.P.2178 - Tel.4226

MOÇAMBIQUE
L.Marques - C.P.982 - Tel.74 11 21
Beira - C.P. 1002 - Tel. 71497

C. D. U. 621.311.22

CENTRAIS TÉRMICAS DE PEQUENA CAPACIDADE *

por A. J. R. SOARES DE MELLO
Eng.º Mecânico (I. S. T.)
Chefe de Serviço
Profabril — Centro de Projectos Industriais, S. A.R.L.

RESUMO

Com base na sua experiência como projectista de centrais térmicas de pequena capacidade, o autor apresenta alguns dos problemas mais correntes que surgem na concepção destas instalações. Assim, após ter classificado as centrais térmicas em cinco tipos distintos, descreve brevemente as suas mais importantes instalações constituintes: geradores de vapor, circuito de água de alimentação, retorno de condensado e circuito de combustível. Como exemplo de dificuldades de projecto, referem-se a escolha das caldeiras, desgasificação da água de alimentação e manuseamento do condensado.

Na introdução, justifica-se o interesse económico destas instalações em Portugal.

Na discussão que se seguiu à exposição levantaram-se vários pontos de interesse. Teve particular relevância a discordância manifestada contra uma das razões apresentadas para justificar a plataforma dos rendimentos das caldeiras tubos de fumo.

SUMMARY

The author, based on his experience as a designer of small industrial steam raising stations, presents some of the more general problems a professional comes up against during the design of this type of facility. Thus, after classifying the steam raising stations in five main groups, he describes briefly the most important component installations: boiler, feed water circuit, condensate return and fuel system. The design difficulties used as examples refer to choice of boilers, water deaeration and condensate handling.

In an introduction, the economic importance of these installations in Portugal is justified. The discussion following this lecture provided some interesting points, namely some opposition to one of the reasons quoted to justify the «plateau» type of efficiency curve of the smoke-tube boilers

I — Compete-me agradecer aos organizadores da II Semana de Engenharia Mecânica a oportunidade de voltar a estas aulas embora, com manifesto prejuízo para todos, me encontrar agora sobre este estrado e não na assistência.

Antes de dizer qualquer coisa que porventura venha a merecer interesse, gostaria de fazer alguns comentários:

O primeiro refere-se ao facto do assunto abordado ser encarado pelo lado das dificuldades concretas encontradas por quem projecta instalações. A exposição ficará assim despida das considerações genéricas que caracterizam o tratamento que estes assuntos recebem das instituições académicas. Esta tomada de posição, que se faz em aditamento ao lugar comum que louva os contactos entre a Universidade e a indústria, tem duas causas: A primeira resulta do convencimento que esta Escola divulga suficientemente esses métodos de teorização e que o seu corpo docente é a entidade mais competente para o fazer; a segunda razão baseia-se no desejo de compartilhar a experiência que só na vida profissional se encontra. Uma só palavra mais sobre este comentário: sem o conhecimento profundo que permite a fácil aplicação das teorias genéricas ensinadas nestas aulas, não é possível determinar as soluções concretas que adiante serão exemplificadas.

Outro comentário diz respeito à falta de encanto intelectual que o tema das pequenas centrais térmicas possa ter para um jóvem auditório de futuros engenheiros. Eu próprio, por exemplo, dispendi os três anos imediatos à formatura a ajudar a projectar centrais termo-eléctricas de grande potência, e recordo-me que, nessa altura,

* Palestra proferida na II Semana de Engenharia Mecânica em Abril de 1966.

classificaria desdenhosamente de ninharia o tema desta conversa convosco. Presentemente, porém, por motivos mais de ordem económica que técnica a minha opinião é totalmente diversa.

Numa estimativa pessoal, que talvez peque por defeito, julgo que em 1965 se construiram em Portugal cinquenta centrais térmicas de pequena potência com um valor investido de cem mil contos e produzindo vapor ao custo de três mil contos anuais. Além disso, pelo menos metade dessas centrais são o coração de muitas pequenas e médias indústrias pois a sua paragem implica a suspensão de laboração.

Se se atender, agora, a que uma boa solução do projecto se pode propagar a todas elas e conduzir a economias de combustível, menor conservação, menor investimento ou maior segurança de funcionamento, aceita-se fàcilmente a importância e a rentabilidade do bom solucionamento das questões técnicas relativas a estas centrais.

São meia dúzia destas soluções que, a seguir, se apontam. Ao fazê-lo há a certeza que não se apresenta a solução óptima para cada caso nem, tampouco, existe a pretensão de possuir o monopólio das boas soluções. Como em todas as questões de carácter técnico, apenas se podem indicar algumas das decisões mais adequadas às circunstâncias; o critério que as estabelece é naturalmente susceptível de controvérsia que muito vantajosa seria se fosse aberta.

I

À pergunta «o que é uma central térmica de pequena capacidade»? respondo, dizendo que é essencialmente uma instalação com o aspecto indicado na Fig. 1, composta por geradores de vapor, armazenagem de combustível, alimentação e tratamento de água e tubagem de adução de vapor.

É evidente que o propósito da instalação é transformar, com o maior rendimento possível, água em vapor à custa do calor libertado pelo combustível.

Esta resposta esquematiza a essência destas instalações. Há, contudo, variações importantes que convém ser mencionadas.

Em primeiro lugar, há a central que produz energia eléctrica e vapor com primazia para qualquer deles ou em igualdade. Estas centrais incluem, além dos orgãos já citados, um gerador eléctrico accionado por uma máquina de vapor. Essa máquina é presentemente quase sempre uma turbina de vapor. Este tipo de centrais aparece na maioria dos casos em que não existe ou é cara a energia eléctrica na região da fábrica ou em que a laboração fabril produz matéria residual combustível sem valor económico. Este é, por exemplo, o caso das fábricas de celulose. Outro caso em que estas instalações aparecem é o de certas instalações químicas cujo processo conduz à produção de quantidades de vapor que

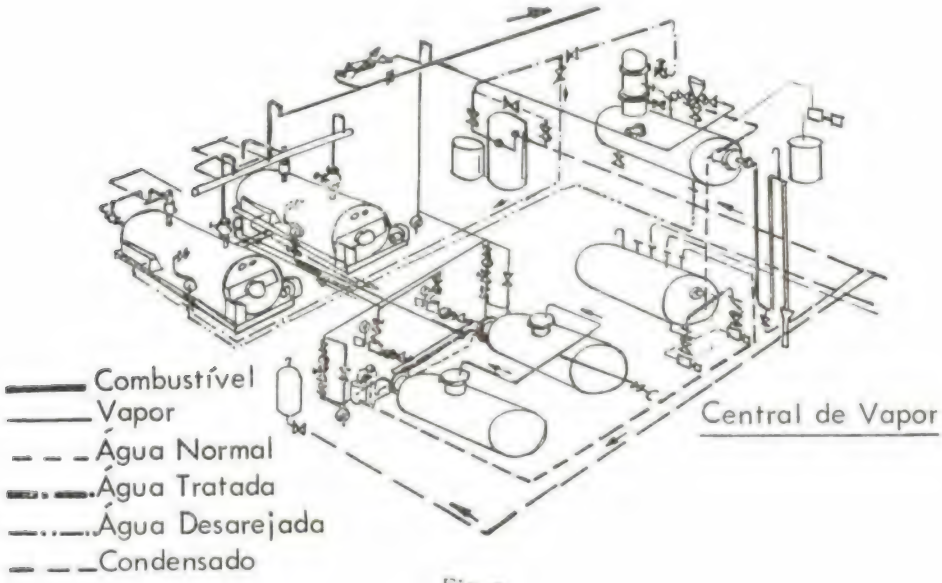


Fig. 1

não tem utilização. Situam-se nesta categoria, por exemplo, as fábricas de ácido sulfúrico mas, aí, os geradores de vapor não têm qualquer semelhança com as caldeiras normais.

Em vez de vapor como produto principal, certas centrais térmicas produzem fundamentalmente água quente para fins domésticos e para ar condicionado e algum vapor para outros fins. Nestas centrais, o vapor é produzido como agente primário de transmissão de calor indo ele próprio produzir a água quente em permutadores de calor. Neste tipo de centrais, portanto, há que acrescentar uma ou mais instalações de permuta de calor e armazenamento de água quente. Os hotéis e as instalações sociais (cantinas e balneários) das indústrias com muita mão de obra são os principais utilizadores de centrais deste tipo. Curiosamente, estas centrais são em geral as mais complexas tècnicamente. Esta complexidade provém do esquema da permuta de calor vapor-água quente: há imensos esquemas tipos desta permuta que variam consoante as necessidades de controle, grau de constância de temperaturas e caudais disponíveis além da resposta imediata do sistema.

Outras centrais ainda produzem, em vez de vapor, água a que se dá o nome de sobreaquecida porque está a temperatura superior a 100°. Contudo, como a sua pressão é elevada, a água não se transforma em vapor e, por isso, seria mais lógico — se bem que menos sugestivo — chamar-lhe água sobrepressurizada. Estas centrais apresentam certas vantagens sobre as de vapor; apresentam também, naturalmente, certos inconvenientes. É opinião minha que o estudo comparativo das economias destes dois tipos de central está ainda imperfeitamente determinado.

Presentemente estão também a utilizar-se centrais em que o agente transmissor de calor é um de vários produtos orgânicos cuja composição é patente dos vários construtores existentes. Estas centrais são francamente distintas das anteriores e não serão doravante consideradas.

II — GERADORES DE VAPOR

Qualquer que seja o tipo de central considerada, o seu orgão central é o gerador de vapor.

A grande tendência actual é de utilizar as chamadas caldeiras monobloco. Estas caldeiras distinguem-se apenas pelo facto de numa construção integrada única sobre um chassis próprio possuirem todos os órgãos necessários ao seu funcionamento: bomba de água, de combustível, quadro de comando eléctrico, etc. Deste modo, a montagem duma destas caldeiras resume-se no seu transporte para o local e ligação das quatro redes: vapor, água, de alimentação, combustível e energia eléctrica.

Embora se construam caldeiras monobloco de ambos os tipos, tubos de fumo ou de água, a vasta maioria das que se constróem e instalam principalmente em Portugal — são do primeiro tipo.

A moderna caldeira monobloco tubos de fumo (Fig. 2) é a herdeira dos antigos tipos de caldeira Cornish e Lancashire. Consiste num cilindro horizontal com um tubo fornalha — onde se realiza a queima do combustível — e duas séries de tubos, ligados em paralelo e o seu conjunto em série com o tubo fornalha, por onde passam os gases de combustão. Neste tipo de construção os gases passam três vezes ao longo da caldeira, por isso, elas são designadas por caldeiras de três passagens. Noutras variantes — geralmente de maior capacidade — há dois tubos fornalha e pelo menos um construtor apresenta quatro passagens de gases.

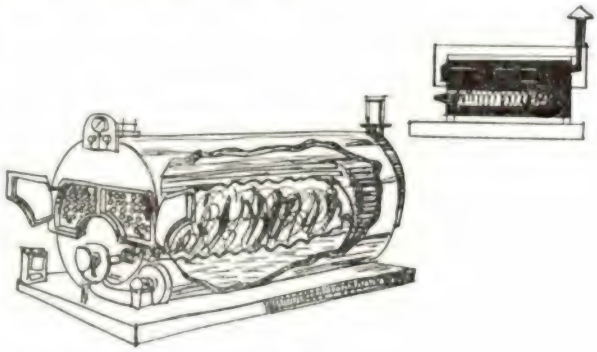


Fig. 2

Nas centrais térmicas de pequena capacidade que estão a ser tratadas, a caldeira monobloco tubo de fumo tem modernamente um predomínio muito grande sobre a caldeira tubos de água. Isto deve-se essencialmente aos seguintes factores:

a) — Compacidade de dimensões
b) — Maior adaptabilidade construtiva à construção monobloco

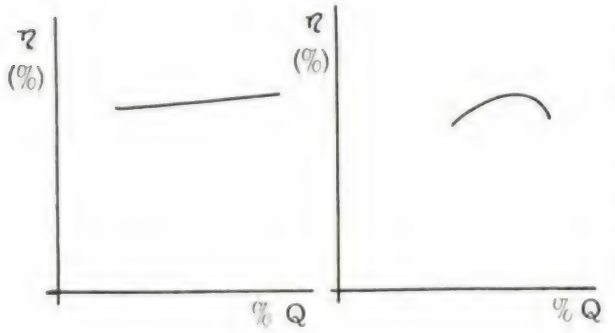
c) — Maior volume de água contida

d) — Rendimento pouco variável com a carga.

As duas últimas características são muito importantes para as pequenas centrais. Geralmente, as instalações que delas necessitam têm grandes fontes de consumo com chamadas bruscas de vapor.

O grande volume de água destas caldeiras permite suportar maiores variações de consumo à custa de variação do nível de água e, portanto, ter um menor excesso de capacidade de produção.

A curva do rendimento das caldeiras tubos de fumo (Fig. 3) apresenta uma plataforma enquanto que o dos tubos de água tem uma variação acentuada com a carga. Esta regra — cuja validade não é absoluta pois há já caldeiras de tubos de água com rendimento pouco variável — tem uma justificação imperfeitamente conhecida que, simplistamente, tem base em razões de transmissão de calor, maior capacidade de absorção de variações de carga e no excelente automatismo das caldeiras tubo de fumo modernas.



Caldeira tubos de fumo Caldeira tubos de agua

Fig. 3

As razões de transmissão de calor que justificam a maior estabilidade do rendimento são dadas no Apêndice. A validade destas razões é controversa; se essa controvérsia vier a lume, ela e as suas conclusões serão muito bem vindas.

As caldeiras tubos de fumo produzem normalmente vapor com um título de 98 %. É possível construí-las com sobreaquecedores e as suas condições de funcionamento — se forem bem projectadas — são excelentes. Contudo, uma das suas grandes vantagens — a uniformidade do rendimento com cargas variáveis — fica prejudicada.

III — ÁGUA DE ALIMENTAÇÃO

O circuito de água de alimentação nas centrais pequenas depende da natureza da água e do fim para que se utilize o vapor. A natureza da água determina o tipo de tratamento que deve sofrer para poder ser utilizada na caldeira, o fim para que se utiliza o vapor determina ou não a recuperação de condensado e, consequentemente, o circuito da água de alimentação.

Raras vezes tem a água de alimentação as características que lhe permitem ser utilizadas numa caldeira. Para que o possa, a água deve ser pouco agressiva para a caldeira o que corresponde a:

— ter muito poucos sólidos em suspensão
— ser neutra
— estar desgasificada
— ter baixa concentração de sais precipitáveis com a temperatura.

Para eliminar os sólidos em suspensão usam-se tratamentos físicos de sedimentação, filtragem ou o conjunto dos dois. Para obter água neutra e com baixa concentração de sais precipitáveis — operação correntemente designada por desendurecimento de água — usam-se tratamentos químicos de várias naturezas por intermédio de doseadores de substâncias correctivas ou de permutadores iónicos. Sendo esta uma semana de Engenharia Mecânica não me alongarei sobre estas questões para as quais, aliás, me falta a competência.

A desgasificação da água de alimentação é o seu tratamento talvez mais importante em centrais de baixa capacidade. A desgasificação tem por objectivo essencial a eliminação do oxigénio e anidrido carbónico contidos na água pois são estes os dois gases mais agressivos: o primeiro, por provocar corrosões violentas por oxidação, o segundo, por contribuir para a acidez da água por um lado e, por outro, por formar alguns dos sais criadores de incrustações dentro de caldeiras.

A desgasificação pode fazer-se parcialmente por tratamento químico ou, quase totalmente, por intermédio dum desgasificador.

É prática corrente recomendar a utilização do desgasificador para caldeiras com timbres supepiores a 20 atmosferas enquanto que para pressões inferiores se dispensa a sua instalação.

Nos projectos que tenho executado procurei sempre defender o ponto de vista de que a instalação do desgasificador é sempre de aconselhar qualquer que seja o timbre da caldeira. De facto pode-se provar que a sua instalação é não só tècnicamente recomendável como, em quase todos os casos, económica.

Para o explicar haverá primeiro que fazer referência ao circuito de recuperação de condensado.

O vapor utilizado na maioria das instalações industriais que vimos tratando ou é injectado para impregnação húmida quente e outros fins processuais ou transmite calor em aparelhos de superfície.

No primeiro caso o vapor é irrecuperável para outros fins; no segundo, o vapor condensa-se e é reaproveitado com substanciais economias em água e calor sensível.

O aproveitamento do condensado não se faz, contudo, sem algumas dificuldades práticas, cujas causas serão adiante explicadas. De momento assentar-se-á que o condensado tem que ter franco contacto com o ar e que é armazenado na central térmica num depósito que, por razões de economia e bom funcionamento, é geralmente subterrâneo.

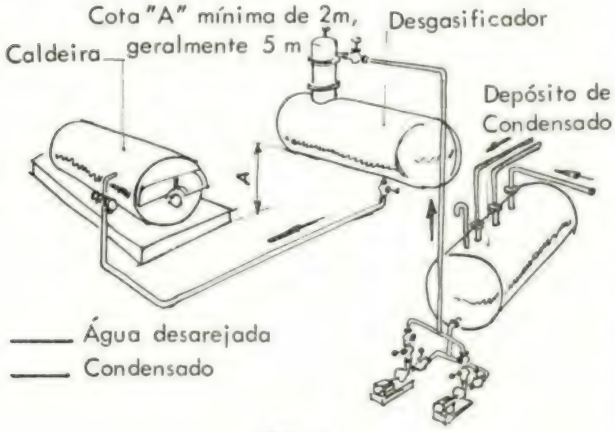


Fig. 4

A água quente é muito ávida de oxigénio e, por isso, há que desgasificar o condensado antes de fazê-lo entrar na caldeira. Por outro lado, as bombas modernas de alimentação das caldeiras são bombas centrífugas que não podem aspirar água quente. A mínima altura manométrica de água que uma bomba necessita para não sofrer cavitação designa-se, a partir do inglês por NPSH (net positive section head) e nunca é inferior a 1 metro para bombas de alimentação de caldeiras com condensado perto do ponto de ebulição.

Verifica-se, assim, na figura 4, que é preciso elevar o condensado de abaixo do solo até uma altura mínima de 2 metros para ter um pouco de margem de segurança. É preciso, além disso, tratar o condensado para o desgasificar.

Se agora se observar na Fig. 5 o que é um desgasificador, verifica-se que não passa dum de-

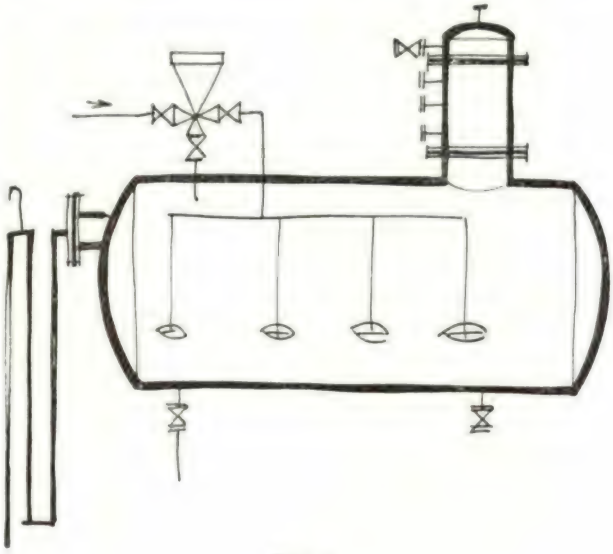


Fig. 5

pósito cilíndrico horizontal com uma cúpula por onde cai a água e por onde sobe vapor que lhe é injectado. A desgasificação processa-se por uma acção simultânea de betimento das gotas contra as chicanas da torre e pela ebulição da água.

Pode-se concluir, pois, que para a instalação dum desgasificador, em vez dum simples depósito, apenas há que gastar a mais o custo da cupula e da rede de adução de vapor. Prova-se que esse custo é ràpidamente amortizado pela economia no consumo dos reagentes necessários para a desgasificação por via química.

A tese de que um desgasificador é sempre conveniente instalar desde que haja substanciais retornos de condensado está justificada. Mesmo quando a água de alimentação for completamente fria, há casos em que ele se justifica.

Um caso típico é a central em que o vapor é consumido — pelo menos parcialmente — numa máquina de expansão. Como se sabe, a teoria demonstra que, neste caso, uma subtiragem in-

termédia de vapor que aqueça a água de alimentação aumenta o rendimento do ciclo de Rankine e conduz, portanto, a importantes economias de combustível.

Permito-me fazer aqui um parêntesis para observar que é o somatório de pequenas decisões de projecto como a indicada que conduzem a grandes economias. Dado que o projecto das pequenas centrais térmicas, embora seja de pormenorização individual, é globalmente repetitivo, pode-se concluir que decisões erradas desta natureza podem representar — só em economias de combustível — o valor de exportação de muitas caixas de vinho do Porto.

Aproveito para assinalar outra condicionante de projecto: foi mencionado que a altura mínima do desgasificador acima da bomba deveria ser de 2 metros.

Contudo, não é o NPSH de bomba o grande condicionante da localização do desgasificador Como um dos melhores locais para colocar um desgasificador é por cima da porta de entrada, ele deverá sempre permitir a passagem dum camião carregado com a caldeira para ser instalada.

Por isso, é infrequente colocarem-se desgasificadores a menos de 5 metros de altura.

III — APROVEITAMENTO DE CONDENSADO

O vapor ao perder todo o seu calor em qualquer permutador, condensa-se. A separação do condensado do vapor faz-se em purgadores. Estes aparelhos gozam justamente da reputação de serem uma fonte constante de avarias e más condições de funcionamento. O que já não é tão justo é atribuir-se-lhes integralmente a culpa desse mau funcionamento que, por vezes, é causado pelas condições de instalação. Há uma série de regras práticas de instalação que permite evitar muitos dos problemas causados por purgadores mas, infelizmente, elas são ou pouco conhecidas ou consideradas pouco importantes o que lhes dá um carácter parecido com as regras da gramática inglesa: as excepções são em maior número que os casos cumpridos...

As duas regras principais a seguir são:

— Nunca ligar tubos de condensado num colector pressurizado.

— Nunca permitir que tubos de condensado subam a juzante dos purgadores.

Ambas as regras têm a mesma justificação: apesar de todas as garantias em contrário dadas pelos seus criadores, nenhum purgador funciona bem em contrapressão. A subida de tubos de condensado tem ainda outro inconveniente: devido à perda de altura manométrica formam-se bolsas de vapor que conduzem a violentos martelamentos na linha que, claro está, avariam os purgadores.

A primeira regra enunciada traz como consequência que, para poupar tubagem e utilizar colectores é necessário reunir os tubos de condensado em pequenos colectores com pressão atmosférica que, seguidamente, debitam para um colector gravimétrico (Fig. 6). Esta regra implica o facto acima registado do condensado ter francos contactos atmosféricos.

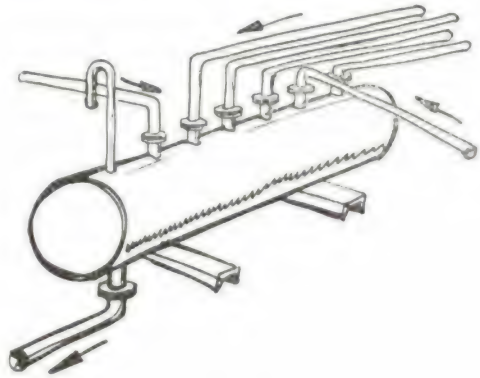


Fig. 6

A combinação das duas regras implica um depósito subterrâneo de condensado na central a menos que as condições justifiquem uma instalação de bombagem.

Abuso do meu direito de ser insistente para relembrar a importância destes pontos: as economias em custos correntes aqui conseguidas, multiplicadas por todas as centrais em construção na País, são superiores aos ganhos de divisas de muitas exportações nacionais.

IV — CIRCUITO DE COMBUSTÍVEL

Quando se fala de combustível numa central de pequena capacidade, pensa-se geralmente em óleo combustível BUNKER «C» designação n.º 6

das normas ASTM ou, curiosamente, o «thick fuel oil» da nossa terminologia comercial.

Contudo, há inúmeras centrais portuguesas que felizmente queimam combustíveis nativos. Para dar uma ideia da importância deste problema citarei que numa central recentemente projectada, o investimento necessário para queimar lenha de azinho numa região onde ela é vendida a 150$00 por tonelada, foi amortizado em 48 dias.

É evidente que não se podem generalizar conclusões desta natureza: o preço dos combustíveis sólidos é muito variável, exige áreas de armazenamento enormes, muito mais mão de obra e, acima de tudo, não permitem uma condução tão flexível como a dos óleos combustíveis.

Esta última razão impede a utilização mais frequente destes combustíveis; a área de armazenamento e as dificuldades de abastecimento seguem-se-lhe em importância. Permito-me recomendar que ao planear uma central, este problema seja observado com o grande cuidado que merece.

É na queima de óleos combustíveis que os problemas técnicos de maior interesse aparecem. Um circuito destes exige um reservatório, um sistema de pré-aquecimento do óleo dentro do reservatório para lhe permitir ser bombado, filtros e bombas e tubagens de adução à caldeira.

Na caldeira, o óleo é aquecido à temperatura conveniente para queima e conduzido para o queimador onde é queimado; a parte que não o é retorna por uma tubagem apropriada para o depósito de combustível.

Na vasta maioria dos casos, convém, por razões de custo superficial de terreno, que os depósitos de armazenagem sejam enterrados.

Nestes casos é importante que a sua tubuladura de alimentação tenha fácil acesso de arruamento onde param os camiões cisternas e que a sua saída dê para uma fossa com fácil acesso do interior da central (Fig. 7).

Durante muito tempo foi prática corrente instalar-se dentro da central um pequeno depósito de combustível, com capacidade para o consumo de um dia, donde o óleo corria por gravidade para a bomba da caldeira.

A prática seguida nos projectos que o destino tem empurrado para as minhas mãos é diversa: a bomba de combustível da caldeira é dela retirada e montada junto à saída do preaquecedor do depósito geral de óleo. O combustível é bombado directamente para o queimador, sendo a bomba comandada directamente pelos comandos da caldeira. O depósito diário e, pelo menos, uma bomba de combustível são assim economizados. A grande virtude deste sistema está, porém, na melhor condução das operações da central.

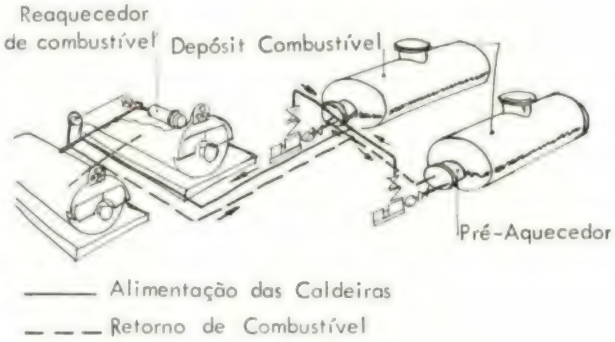


Fig. 7

O pré-aquecimento do combustível põe um problema curioso de aproveitamento de condensado. Vai-lhe ser feita referência para mostrar como é, por vezes, difícil achar soluções para problemas que parecem simples mas cuja economicidade é importante dada a sua repetição. Os preaquecedores têm uma resistência eléctrica que trabalha enquanto a caldeira não tem vapor e uma serpentina de vapor para funcionamento normal. Essa serpentina produz condensado que é econòmicamente interessante aproveitar.

Como, porém, os depósitos estão enterrados, fica-se num dilema: ou se faz subir o condensado à saída dos purgadores — o que é mau — ou se afunda mais o depósito de condensado — o que custa caro. Por outro lado, a recente legislação alemã impede que o condensado dos preaquecedores seja recuperado em caldeiras devido ao perigo de, por ruptura da serpentina, o óleo contaminar o condensado a ser introduzido na caldeira onde representa perigo gravíssimo de explosão. Conjugando todas estas dificuldades, esteve-se recentemente a ponto de tomar a decisão de desperdiçar no futuro este condensado.

Felizmente, surgiu a solução salvadora: para verificar a contaminação de óleo montam-se verificadores visuais; para não elevar o condensado eleva-se o purgador, sendo montado entre

à serpentina e o tubo de subida de purgador um U elevador de condensado.

O curioso da questão é que estes acessórios são já usados há muito tempo noutros pontos de instalação de condensado sem que houvesse, até há pouco, a ideia de os utilizar aqui (Fig. 8).

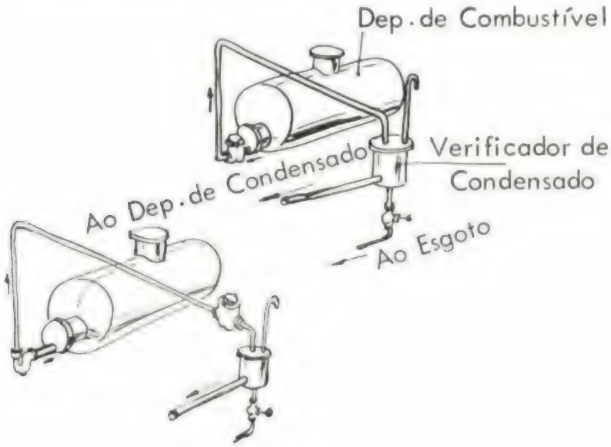


Fig. 8

VII — FLEXIBILIDADE DE TUBAGENS

Esta é uma questão que não pode ser devidamente tratada sem auxílio dum aparato matemático que alongaria por demasiado esta já longa exposição. Por isso, apenas lhe será feita breve referência do ponto de vista dos problemas genéricos que levanta ao projectista.

As tubagens quentes dilatam-se; por terem os seus extremos fixados criam-se solicitações que se não forem absorvidas pelas deformações elásticas da tubagem podem causar a sua fractura. Devido à forma geométrica complicada das linhas de tubagem, o cálculo destes esforços para tubagens com mais de dois ancoramentos conduz a operações de cálculo matricial que — sem terem nada de transcendentes — são extremamente morosas devido ao seu elevadíssimo número.

O único processo aceitável de executar estes cálculos consiste na utilização de calculadores electrónicos.

Infelizmente, porém, este método é caro e, em linhas não muito extensas, pode representar um custo incomportável com o valor da tubagem. Nestes casos, a única solução de que o projectista dispõe consiste em criar ancoramentos intermédios desnecessários de tal modo que seja sempre possível usar um método de cálculo expedito entre dois ancoramentos sucessivos.

Com este método há muitas vezes que aumentar o comprimento desenvolvido da tubagem entre ancoramentos de forma a assegurar a flexibilidade necessária. Por outras palavras, cria-se um processo económico pouco comum: gasta-se mais em tubos para se poupar em custos de projecto; o curioso é que em inúmeros casos o que se gasta a mais em material é inferior ao que se poupa em trabalho intelectual.

Talvez mais curioso, ainda, é o facto dum projectista experimentado ser capaz — com uma simples observação — de conhecer as linhas de tubagem que foram calculadas electrònicamente, as que o não foram, ou as que foram projectadas sem ter em conta os efeitos da flexibilidade. Estas últimas são simples: ou têm fugas em certas flanges ou têm certas válvulas a funcionar mal ou, mais frequentemente, partem.

APÊNDICE

Explicação da variação de rendimento com a carga ser maior nas caldeiras «tubos de fumo» que nas «tubos de água».

A quantidade de calor transmitida por unidade de caudal de vapor é dada pela expressão genérica:

$$q = KS\,\Delta t$$

K é o coeficiente de transmissão de calor que se pode exprimir por

$$K = \frac{1}{\alpha_{fumos}} + \frac{1}{\alpha_{água}} + \frac{\lambda}{\delta}$$

em que:

$$\alpha_{fumos} = \alpha_{convecção} + \alpha_{radiação\ dos\ fumos}$$

$$K_{água} = \alpha_{convecção} + \alpha_{radiação\ da\ água}$$

$$\frac{\lambda}{\delta} = \text{relação condutividade/espessura da parede}$$

$$\alpha = \text{convecção é proporcional à velocidade dos fumos ou de água.}$$

Numa caldeira tubos de água, quando a carga baixa, baixa também a velocidade da água e dos fumos.

Numa caldeira tubos de fumo, quando baixa a carga, só baixa a velocidade dos fumos pois a água está sempre parada.

Logo K baixa mais nas caldeiras tubos de água do que nos tubos de fumo.

Consequentemente, Δt terá que aumentar mais nas caldeiras tubos de água e as perdas em calor sensível pela chaminé serão maiores.

TÉCNICA N.º 355

Por lapso saíu invertida a fotografia da capa deste número. Na pág. 265 encontra-se a mesma vista na posição correcta.

Do facto apresentamos as nossas desculpas.

Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Serviço de Edifícios e Pontes

Divisão de Mecânica Aplicada

— Centro de Cálculo —

O Centro de Cálculo da Divisão de Mecânica Aplicada do L. N. E. C. dispõe de um computador digital Elliott 803-B que permite resolver com grande rapidez um número muito variado de problemas de cálculo numérico.

Indicam-se em seguida alguns dos programas relativos a Engenharia Civil que se encontram em operação.

1 — ESTRUTURAS

- Cálculo de vigas contínuas (linhas de influência, esforços máximos .
- Cálculo de estruturas reticuladas planas, em regime linear.
- Cálculo de estruturas reticuladas planas, em regime não linear.
- Cálculo de grelhas.
- Cálculo de estruturas lineares planas articuladas.
- Cálculo de estruturas lineares tri-dimensionais articuladas.
- Resolução de problemas de elasticidade plana (pelo método dos elementos finitos ou pelo método integral).
- Cálculo de barragens abóbada.
- Cálculo de vigas de betão armado.
- Cálculo de vigas de betão pré-esforçado.
- Optimização de soluções em vigas de betão pré-esforçado.
- Escolha de soluções de pavimentos pré-fabricados.

2 — GEOTECNIA

- Estados de tensão em valas e taludes.
- Cálculo de barragens de terra e muros de suporte (em preparação).

3 — ESTRADAS

- Cálculo da geometria da directriz (em planta e perfil longitudinal).
- Cálculo de volumes de escavação e aterro.
- Dimensionamento de pavimentos.

4 — TOPOGRAFIA E GEODESIA

- Resolução sucessiva de triângulos.
- Ajustamento e cálculo de uma poligonal.
- Cálculo da distância entre pontos de uma superfície esférica.

5 — HIDRÁULICA

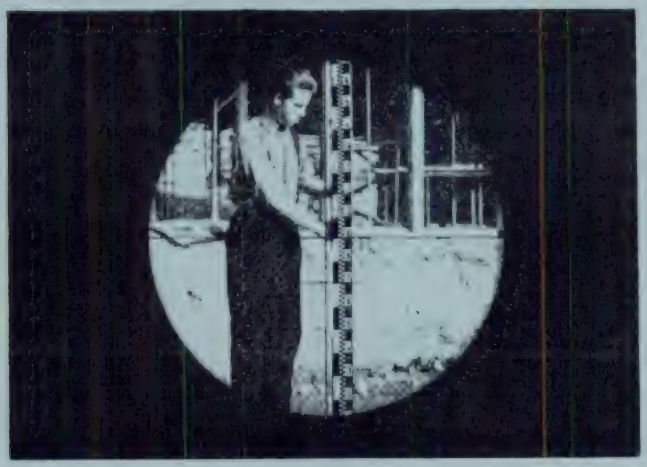
- Propagação de uma onda de maré ao longo de um rio.

O Centro de Cálculo dispõe também de programas relativos a problemas de outras especialidades de Engenharia. Torna-se igualmente possível a realização de um grande número de cálculos matemáticos, tais como sistemas de equações, cálculo matricial, cálculo de funções especiais, anás lise harmónica, cálculo de integrais, cálculos estatísticos, resolução de problemas de investigação operacional, etc.

Os interessados na realização de cálculos podem dirigir-se directamente ao Serviço de Edifícios e Pontes do LNEC, onde lhe serão prestadotodos os esclarecimentos.

ANTIGAMENTE :

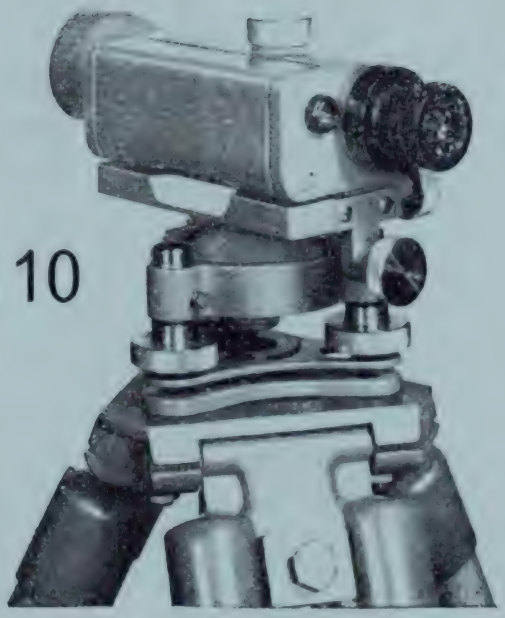
HOJE :



Com
imagem
direita
na luneta

WILD
HEERBRUGG

N 10



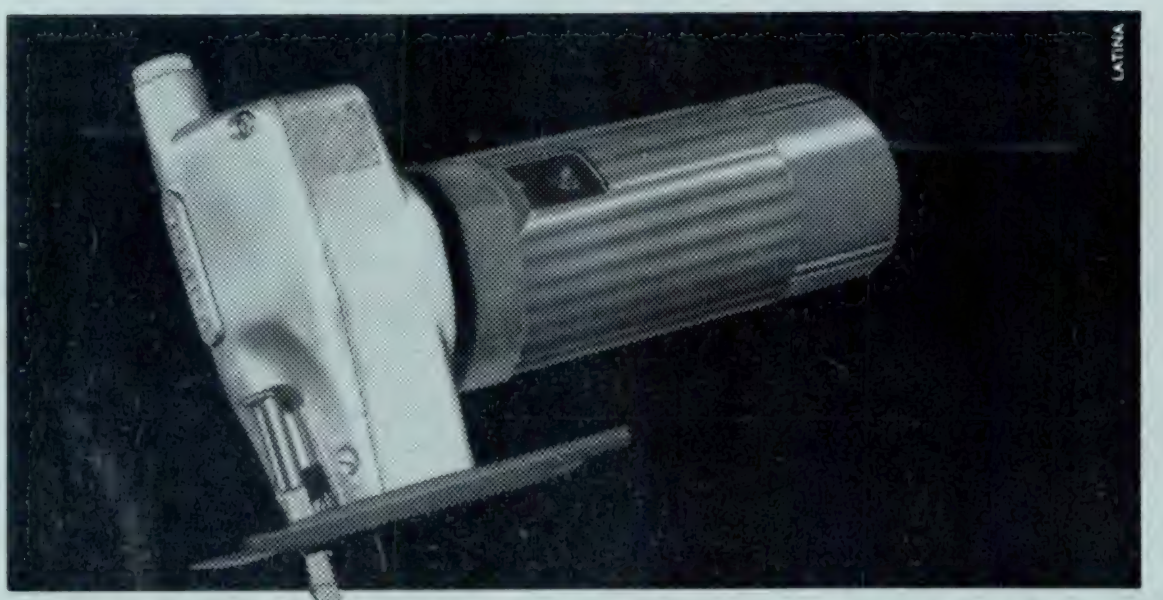
Trabalho cómodo e simples sem erros e sem dúvidas, sinais correctos, não invertidos, claros e rápidos.

O pequeno nível WILD N 10 com a designação «E» tem imagem direita do campo de observação na luneta. A mesma tem luminosidade igual ao modelo convencional e o mesmo tamanho.

Representantes exclusivos

WILD PORTUGAL, LDA.

PRAÇA DAS ÁGUAS LIVRES, 8
LISBOA-2 — TELEFONE 68 11 27



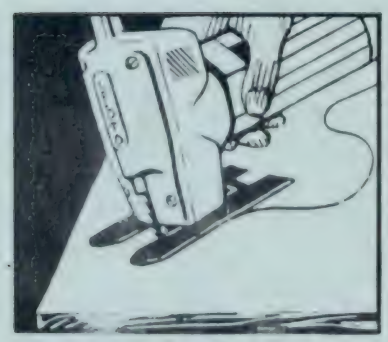
UMA SÓ SERRA PARA MUITOS TRABALHOS

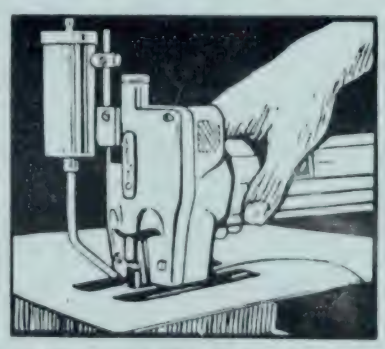
SERRAS ELÉCTRICAS

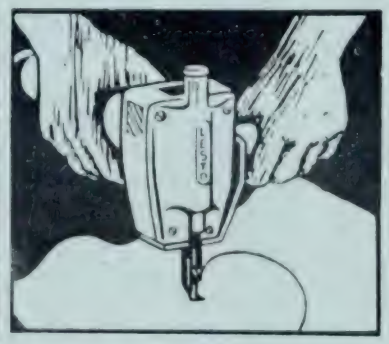
LESTO

Fàcilmente manejáveis, leves e resistentes, as Serras Lesto são preferidas pelos profissionais de todo o mundo pela sua grande capacidade de corte dos mais diversos materiais — madeira, metal, plástico, fibrocimento e aglomerados.

Assistência Técnica em todo o país







ROBERT BOSCH (PORTUGAL), LDA. — LISBOA - PORTO

C. D. U. 550.837 : 624.15

PROSPECÇÃO ELÉCTRICA DOS TERRENOS DE FUNDAÇÃO. POSSIBILIDADES E LIMITAÇÕES

por J. M. RESSURREIÇÃO NETO
Engenheiro Civil

RESUMO

O extraordinário êxito alcançado pelos métodos geofísicos de prospecção, na pesquisa de petróleos, localização de águas subterrâneas, importantes jazigos minerais, etc, conduziu a um rápido desenvolvimento de tais técnicas de trabalho, evidenciando ainda as incontestáveis vantagens da sua extensão ao campo da investigação geotécnica.

Para satisfazer as contínuas exigências resultantes da crescente necessidade de transmitir ao solo esforços cada vez mais elevados, como consequência da progressiva grandiosidade das obras e empreendimentos de engenharia civil, torna-se indispensável utilizar os mais expeditos e evoluidos métodos de prospecção para que na resolução de quaisquer problemas de fundações possam ser escolhidas e adoptadas as soluções mais convenientes.

O presente trabalho foi escrito para engenheiros civis e constitui uma tentativa no sentido de se evidenciarem as possibilidades e limitações do método da resistividade eléctrica, tendo em vista a sua divulgação e utilização nos dominios da prospecção geotécnica.

Os principios básicos do método, a sua mais conveniente utilização e alguns exemplos de aplicação prática constituem o principal conteúdo da presente publicação.

SYNOPSIS

The tremendous successes achieved by geophysical exploration methods in oil prospecting location of groundwater large mineral deposits and so on led to a rapid development of these methods, folling attention to the undoubted advantages of their extension to geotechnical research.

In order to satisfy the need to transmit ever larger forces to the soils due to the increasing magnitude of Civil Engineering structures, it is indispensable to resort to the most rapid and evolved exploration methods so as to make possible the study and adoption of the best solution for every foundation problem.

The present paper was written for civil engineers and is an attempt to stress the possibilities and limitations of resistivity survey methods, with a view to making then more widely known and to extending their application to geotechnical exploration.

The basic principles of resistivity methods, their most adequate utilization and some instances of practical application are the main item of the present paper.

1 — INTRODUÇÃO

A necessidade do emprego de estruturas de elevado grau de hiperstaticidade, na resolução de importantes problemas de engenharia civil, só poderá ser satisfeita na medida em que exista um perfeito conhecimento das características mecânicas dos materiais de construção a empregar, incluindo os próprios terrenos de fundação. De outro modo não apresentará grande sentido prático o crescente desenvolvimento a que presentemente se assiste no campo da análise de grandes estruturas, pelo emprego dos mais cuidados ensaios sobre modelo reduzido, ou através de complicados cálculos analíticos, considerados materialmente impossíveis antes do aparecimento dos modernos computadores electrónicos.

Se é verdade que, mercê de aturados estudos laboratoriais, é possível controlar, de uma maneira estatìsticamente exacta, os materiais de construção a colocar em obra, tais como o betão, aço, vidro, madeira, plásticos diversos, etc., o mesmo não se poderá dizer dos próprios terrenos de fundação sobre os quais se pretende edificar. As características mecânicas de um terreno de fundação, raramente poderão ser controladas e modificadas de acordo com as necessidades técnicas da obra e, sob tais condições, o engenheiro vê-se forçado a aceitar uma situação que, de antemão, lhe é imposta por razões de natureza puramente geológica.

O engenheiro, ao proceder à concepção, dimensionamento e cálculo de uma estrutura deverá ter em consideração todas as implicações

resultantes da maior ou menor deformabilidade do terreno de fundação, pois só em casos muito especiais poderá optar pela escolha de outro local mais favorável para implantar a obra que pretende construir.

Só uma cuidada e criteriosa observação experimental poderá confirmar o bom comportamento de determinada estrutura no tempo, consagrar o método de cálculo analítico utilizado na verificação do seu dimensionamento, ou fornecer novos elementos de estudo que permitam um constante aperfeiçoamento das técnicas tradicionalmente utilizadas.

Por vezes as estruturas são observadas de acordo com os mais requintados processos e recomendações técnicas, conduzindo ao investimento de avultadas somas, dispendidas na aquisição dos mais variados e custosos equipamentos e aparelhos de medida, sem que no final do estudo se consigam obter quaisquer ensinamentos dignos de crédito, tendo em vista os objectivos que se pretendiam atingir.

Não são raros os casos em que, por falta de uma conveniente e oportuna planificação dos estudos e dos métodos de trabalho, a observação é condicionada pela realização de inúmeras medições, todas elas efectuadas na superestrutura da obra, menosprezando a parte respeitante à fundamental influência das características mecânicas de terreno de fundação sobre o comportamento do conjunto estrutural. A observação de uma obra em tais condições, embora tenha o seu mérito próprio, limitado a uma fiscalização global das suas condições de estabilidade e segurança, raramente poderá fornecer resultados válidos que permitam uma completa e nítida separação dos parâmetros que se pretendem observar, tendo em vista a confirmação experimental de determinadas teorias de cálculo analítico ou mesmo a criação de novas técnicas de dimensionamento.

Podem ter sido rigorosamente observados, ao longo da estrutura, e no decurso do tempo, diversos parâmetros respeitantes a estados de tensão, deslocamentos absolutos e relativos, variações de temperatura, abertura de juntas de trabalho e dilatação, estados de maior ou menor embebição e secagem dos materiais, alteração das suas características mecânicas, etc. Tais resultados dificilmente poderão ser analisados se não existir um profundo conhecimento das características mecânicas do terreno de fundação, incluindo a sua evolução ao longo do tempo sob os mais diversos estados de solicitação, de forma a estabelecer algumas relações que nos permitam avaliar e separar a influência de tais parâmetros no comportamento geral da estrutura.

O problema referente à completa e rigorosa determinação da influência das características mecânicas do terreno de fundação no comportamento e estabilidade de uma estrutura altamente hiperstática apresenta uma grande complexidade, e julgamos não cometer grande incorrecção ao considerar a sua resolução como uma justa ambição no campo da técnica, cuja completa satisfação não se antevê para as próximas décadas.

São raros os empreendimentos de engenharia civil que não envolvam a resolução de um problema de fundações mais ou menos complicado o qual, num grande número de casos, é contornado através do simples arbítrio dos assentamentos totais do terreno ou pela prévia fixação de determinadas características elástico-plásticas, na hipótese de se tratar de uma formação geológica do tipo rochoso.

Claro está que nem sempre se antevê a necessidade de proceder a estudos muito exaustivos baseados numa cuidadosa prospecção geológica dos terrenos, quer pela reduzida importância material da obra que, por vezes, se pretende fundar, quer pela suposta evidência da capacidade de carga do terreno em face da ordem de grandeza das tensões que a superestrutura lhe irá transmitir. No entanto os desastres frequentemente constatados traduzem uma acentuada tendência para reduzir os investimentos, respeitantes aos estudos e à execução das fundações a um mínimo tal que, por vezes, ultrapassa os próprios limites da segurança. Embora se trate de uma parte imprescindível da obra, raramente se vê e, sendo pouco espectacular, não será fácil de justificar ou mesmo de negociar na devida oportunidade.

Por mais simples que seja a obra a construir haverá toda a vantagem em proceder a um prévio estudo das principais características geotécnicas dos terrenos de fundação. Tal estudo, no caso mais simples, poderá resumir-se num breve reconhecimento geológico superficial, pormenorizado ou confirmado através da abertura de pequenas valas ou poços os quais permitirão uma

caracterização visual da própria natureza do terreno. Uma prospecção deste tipo, aliada a uma cuidadosa observação das construções eventualmente existentes nas proximidades, poderá ser suficiente para nos esclarecer, ou pôr de sobre-aviso, àcerca da necessidade de efectuar um estudo geotécnico mais aprofundado, o qual poderá mesmo vir a evidenciar encargos financeiros incompatíveis com a viabilidade económica da obra que se pretendia realizar.

Na hipótese de se tratar de grandes empreendimentos de engenharia civil, tal como acontece no caso dos túneis, barragens, pontes, canais, abertura de estradas, aeródromos etc., já o problema da prospecção geológica não se apresenta com a mesma simplicidade.

De uma maneira geral os trabalhos de prospecção geotécnica constituem um encargo financeiro inerente à própria obra, ao qual não se poderá fugir sem correr riscos imprevisíveis, ou pelo menos difíceis de calcular «à priori», os quais podem pôr em jogo toda a viabilidade económica do empreendimento.

Há mesmo quem afirme, e com sobeja razão, que *«un sondage se paie toujours, même si on ne le fait pas»*. Quando os trabalhos de prospecção não se pagam antes do início das obras, pagam-se durante a sua execução ou mesmo após a sua conclusão.

Perante tal consideração apenas poderemos optar pela maior eficiência técnica dos estudos de prospecção e pela melhor época de efectuar o seu pagamento o qual corresponde, sem sombra de dúvida, à fase de anteprojecto. Só assim poderemos proceder ao planeamento e programação dos trabalhos, com pleno conhecimento dos problemas que irão surgir como consequência das verdadeiras condições geológicas existentes no local da obra.

Embora as elevadas somas investidas em estudos e trabalhos de prospecção geotécnica sejam quase sempre recuperadas, com grandes vantagens económicas, nem sempre disso se apercebem as pessoas menos versadas na matéria, geralmente obcecadas por mero e errado espírito de poupança. Tal espírito de economia só será de desejar, e mesmo de louvar, na fase correspondente à execução definitiva das obras.

O caso mais flagrante corresponde sem dúvida ao estudo de fundações de obras cuja exacta localização nem sempre constitui um dos dados do problema, tal como acontece com a maioria dos túneis, barragens, galerias de pressão, etc. De início o local de implantação é quase sempre fixado por meras razões de natureza topográfica, mais ou menos confirmadas e justificadas por um simples reconhecimento geológico superficial e muitas vezes até pela existência de uma simples via de acesso. Com base em tais elementos é costume iniciarem-se os estudos de prospecção pela abertura de trincheiras, galerias ou poços de reconhecimento, seguindo-se imediatamente a execução de um vasto programa de sondagens mecânicas, tendo em vista uma colheita de testemunhos que permitam correlacionar, em profundidade, a informação geológica superficial e a realização de uma série de ensaios mais ou menos orientados no sentido de conhecer uma ordem de grandeza da permeabilidade do terreno, suas características elástico-plásticas, capacidade de carga, resistência ao corte, penetração, etc.

No caso dos resultado obtidos nesta primeira fase de ensaios indicarem que as condições geológicas se apresentavam favoráveis à execução da obra, os estudos raramente atingem uma fase exaustiva e a prospecção é imediatamente dada por concluída, muitas vezes com fundamento num número de observações sob todos os pontos de vista insuficiente.

Se tais condições se apresentarem desfavoráveis, os trabalhos de prospecção raramente são suspensos para dar preferência a outro local de implatação, eventualmente mais vantajoso sob o ponto de vista geológico. Contràriamente ao que seria de esperar os trabalhos são então intensificados, numa segunda fase, e orientados no sentido de esclarecer anomalias mais ou menos pronunciadas, zonas da fundação exibindo piores características mecânicas, etc., surgindo pouco a imperiosa e fatal necessidade de proceder a extensos e complicados trabalhos de consolidação e impermeabilização do terreno, com todos os inconvenientes de ordem técnica que daí podem advir, para não falar nos elevados encargos financeiros que lhe são inerentes, cumprimento dos prazos de execução da obra, etc.

Tal situação é quase sempre motivada pela falta de uma firme e corajosa decisão técnica em face dos eventuais condicionamentos de natureza administrativa os quais não permitem justificar, sem uma aparente quebra de prestígio, o simples abandono de determinado local em estudo e

onde já foram investidas avultadas somas em trabalhos de prospecção. Tais somas deveriam ser consideradas como um risco inerente à própria natureza dos estudos e trabalhos de prospecção e não como uma prestação correspondente ao pagamento de uma obra que, a todo o custo e teimosamente, se pretende implantar num local prèviamente escolhido e geològicamente menos aconselhável.

2 — ORIENTAÇÃO PRECONIZADA PARA OS TRABALHOS DE PROSPECÇÃO GEOTÉCNICA

Uma vez que os estudos de prospecção geotécnica se afirmam como uma necessidade imprescindível para a boa planificação e execução das obras, fornecendo, por vezes, resultados com larga repercussão na viabilidade económica do empreendimento, haverá que proceder à sua conveniente planificação para reduzir ao mínimo os investimentos a efectuar em determinado local uma vez que, de antemão, não sabemos se o mesmo terá de ser abandonado em face das más condições geológicas nele verificadas. Deste modo surge imediatamente a dificuldade, para não dizermos a impossibilidade, de efectuar, «à priori» uma completa planificação dos estudos de prospecção que eventualmente iremos realizar. Embora seja possível esquematizar essa planificação, no que se refere à escolha e ordenação dos métodos e técnicas a seguir, a sua execução prática deverá ser cautelosamente orientada no sentido das aproximações sucessivas, partindo da informação geral para uma mais eficiente e sempre dispendiosa pormenorização. Esta orientação de trabalho mantém-se válida mesmo naqueles casos restritos em que o local de implantação das obras se encontra inteiramente condicionado a planos prèviamente estabelecidos, tal como acontece com a maioria das edificações urbanas.

Deste modo, os trabalhos de prospecção deverão ser orientados por especialistas que, além de conhecerem todos os pormenores referentes aos métodos utilizados, possuam grande intuição e ainda uma elevada formação técnica e científica que, em quaisquer circunstâncias, lhes permita avaliar qualitativamente das repercussões que a natureza geológica do terreno, eventualmente encontrado, poderá vir a exercer sobre o comportamento e estabilidade da estrutura que se pretende fundar.

Por outro lado deverão esses especialistas estar em condições de tomar imediatas decisões, sobre a melhor orientação a dar aos trabalhos de prospecção, em face dos resultados diàriamente obtidos. Só assim será possível reduzir ao mínimo os esforços a empregar para conseguir um máximo de eficiência técnica.

No caso mais geral um plano de prospecção geotécnica convenientemente elaborado deverá ser condicionado pelas seguintes fases de execução: 1.º — *reconhecimento e levantamento topográfico*, 2.º — *reconhecimento geológico superficial*, 3.º — *reconhecimento geofísico* (especialmente efectuado através do método da resistividade), 4.º — *realização de algumas sondagens mecânicas* para aferição, confirmação e extrapolação dos resultados da prospecção geofísica, obtenção de amostras do terreno, determinações de permeabilidade, resistência à penetração, etc., 5.º — *abertura de galerias ou poços* para determinação das características elástico-plásticas, capacidade de carga, resistência à penetração, corte, etc., ou quaisquer outros ensaios especiais que melhor possam servir aos estudos ou à execução da obra que se pretende realizar.

Embora a prospecção mecânica se apresente como uma técnica infalível, no que se refere à completa determinação da natureza do terreno «in situ», a sua realização em larga escala é demasiadamente dispendiosa e demorada, especialmente quando se pretende um completo e pormenorizado esclarecimento das condições geológicas existentes em extensas áreas a investigar.

Sendo a prospecção geotécnica essencialmente caracterizada por um elevado índice de pormenor, o número de sondagens mecânicas a efectuar, em determinada área em estudo, não poderá ser demasiadamente reduzido, em face da natureza pontual dos resultados obtidos por esta via, uma vez que não se possam correr riscos inerentes à existência de eventuais descontinuidades geológicas.

A maioria das formações geológicas existentes na natureza quase sempre se apresentam heterogéneas e discontínuas, quando encaradas sob o ponto de vista da geotecnia. Por tal motivo a prospecção mecânica de terrenos de fundação, extensiva a grandes áreas exibindo acentuadas heterogeneidades geológicas, poderá apresentar-se como proibitiva, quando encarada sob o

ponto de vista de um completo esclarecimento do problema a resolver, ou como duvidosa quando aplicada dentro dos limites impostos pela viabilidade económica do empreendimento. A solução mais barata, embora duvidosa, é quase sempre escolhida dentro de um tentador optimismo que nem sempre conduz aos melhores resultados, envolvendo sérios riscos de ordem técnica, difíceis de controlar, ou mesmo de eliminar, durante a fase de execução das obras.

É costume dizer-se que a necessidade afia o engenho e tal adágio popular parece confirmar o que se está passando nos próprios domínios da prospecção geotécnica.

Durante as últimas décadas tem-se assistido a um acentuado progresso na aplicação dos métodos de prospecção geofísica à resolução de inúmeros problemas de engenharia civil, especialmente relacionados com os domínios da hidrogeologia e da geotecnia. Tais técnicas de trabalho, incialmente utilizadas com grande êxito sòmente na pesquisa de petróleos e minérios, estão agora a penetrar profundamente os domínios da engenharia civil onde têm obtido resultados bastante satisfatórios através da aplicação dos métodos da resistividade eléctrica e sísmica de refracção.

O rápido e espectacular progresso a que se assiste resulta não só das vantagens económicas que tais métodos de trabalho proporcionam, mas ainda do facto dessas técnicas de pesquisa terem sido importadas de outros campos de actividade onde já tinham atingido suficiente maturidade, altamente comprovada e cimentada através de largos anos de cuidada e meticulosa investigação científica.

Embora a pesquisa geofísica, só por si, não forneça soluções exactas para o problema da prospecção geotécnica, constitui, sem dúvida, uma potentíssima ferramenta de trabalho a qual, quando bem manipulada, poderá fornecer importantes informações de ordem técnica através de um custo de utilização extraordinàriamente reduzido.

Tanto a prospecção mecânica como a prospecção geofísica, quando aplicadas na resolução de problemas de engenharia civil, apresentam vantagens e inconvenientes e a melhor orientação a seguir esboça-se no sentido de tirar de cada uma das técnicas aquilo que de melhor e mais proveitoso nos possa fornecer. Dentro desta linha de acção, só uma *simbiose* extensiva às duas técnicas de pesquisa poderá conduzir aos mais satisfatórios resultados no campo da prospecção geotécnica.

No presente trabalho apenas se pretende efectuar uma sucinta análise referente às possibilidades e limitações da aplicação do método da resistividade eléctrica na resolução de problemas de engenharia civil, especialmente relacionados com prospecção dos terrenos de fundação, pesquisa de materiais inertes, eventual localização de níveis freáticos, etc.

3 — MÉTODO DA RESISTIVIDADE ELÉCTRICA

A resistividade eléctrica é uma característica física de cada material, cujo significado corresponde à resistência Ohmica que um provete, talhado em forma cúbica de aresta unitária, opõe à passagem da corrente eléctrica segundo a direcção normal a uma das suas faces.

Designa-se normalmente pela letra Ω e exprime-se em Ω.m (Ohms por metro) ou em Ω.cm (Ohms por centímetro) consoante o sistema de unidades que for utilizado.

Com excepção de determinados minérios metálicos, a maior parte dos materiais, que na natureza constituem os eventuais terrenos de fundação, comportam-se pràticamente como isolantes quando isentos de humidade. Por conseguinte a condutibilidade eléctrica dos terrenos processa-se quase exclusivamente por via iónica, pelo que depende fundamentalmente do teor de humidade e da natureza química do meio, no que refere à existência de maior ou menor quantidade de sais ionizáveis.

Formações geológicas com resistividade eléctrica muito elevada corresponderão a terrenos com reduzido teor de humidade, tal como acontece no caso de se tratar de uma formação rochosa compacta ou de um solo seco, enquanto as baixas resistividades traduzirão a existência de terrenos com elevada quantidade de água nos poros, tal como acontece no caso das formações argilosas com teor de humidade próximo da saturação.

As resistividades eléctricas dos terrenos de fundação, normalmente encontrados na natureza, apresentam valores compreendidos entre 2 a 3Ω.m e cerca de 10 000 Ω.m., o que, de certo modo, po-

derá dar uma ideia da potencialidade do método no que se refere à viabilidade prática de classificar as formações geológicas através desta característica física.

Ao efectuar a prospecção eléctrica de um terreno de fundação procuramos obter rápidas informações de natureza geológica e estratigráfica a partir de simples e expeditas medições da sua resistividade eléctrica. Tais medições são normalmente efectuadas a partir da superfície livre do terreno, sob a forma de ensaios não destrutivos.

Nestas condições a resolução de um problema da prospecção geoeléctrica reveste-se de certa complexidade, especialmente quando se pretende efectuar uma completa e precisa interpretação dos resultados das medições.

Além de uma heterogeneidade característica do meio geológico a prospectar, os principais factores que directa ou indirectamente influenciam os valores da resistividade eléctrica do subsolo, teor de humidade, salinidade, temperatura, etc., não correspondem às incógnitas do problema da pesquisa geotécnica que nos propomos resolver. Ao geotécnico interesssa sobretudo conhecer directamente o estado de maior ou menor consolidação do terreno, os coeficientes de deformabilidade, permeabilidade, etc., características estas que, no caso da prospecção eléctrica, são sempre obtidas por via indirecta e sob uma forma meramente qualitativa.

A prospecção geoeléctrica surge-nos assim como uma técnica de ensaio baseada na medição indirecta das grandezas físicas que pretendemos determinar, com todos os inconvenientes resultantes de tais métodos de experimentação. Os valores da resistividade eléctrica do subsolo apenas nos fornecem indicações de índole geral, traduzindo uma ordem de grandeza do teor de humidade que caracteriza o meio geológico em estudo, informações essas quase sempre influenciadas por fenómenos secundários de natureza fisíco-química cuja importância dificilmente poderemos avaliar separadamente.

Utilizando determinadas técnicas de medição torna-se possível obter, com relativa aproximação, as profundidades a que se verificam determinadas alterações no teor de humidade do meio, alterações essas que posteriormente vão ser analisadas e interpretadas em termos de estrutura geológica. Nestas condições a pesquisa geoeléctrica, só por si, não poderá distinguir um terreno argiloso e seco de uma formação rochosa compacta. Uma vez que ambas as formações geológicas exibam a mesma resistividade eléctrica, a interpretação dos resultados conduzirá fatalmente a uma solução duvidosa, a menos que sejam cuidadosamente ponderadas e analisadas outras fontes de informação, através das quais possa vir a ser levantada a indeterminação geoeléctrica.

Na prospecção eléctrica, as medições correspondentes às resistividades, existentes a determinadas profundidades do subsolo, podem ser qualitativamente interpretadas, à base da experiência e da investigação científica, em termos de estrutura geológica, tipo de rocha, porosidade, teor de humidade, salinidade do meio, etc. Tratando-se, no entanto, de medições indirectas, torna-se necessário procurar outras fontes de informação para conseguir uma completa interpretação dos resultados obtidos, recorrendo-se então ao simples reconhecimento geológico superficial, a outros métodos geofísicos para confirmação dos resultados geoeléctricos, ou mesmo, em casos mais duvidosos à realização de algumas sondagens mecânicas de aferição. Deste modo a pesquisa geoeléctrica embora disponha de uma elevada capacidade de resolução, deverá ser olhada como uma ferramenta suplementar do geotécnico e não como um simples meio para atingir determinado fim.

A principal vantagem da pesquisa geoeléctrica, em comparação com outras técnicas, reside essencialmente na rapidez e economia com que determinada área pode ser prospectada. Deste modo poderão ser obtidas grandes poupanças pela eliminação de um elevado número de sondagens mecânicas consideradas necessárias e indispensáveis para um completo esclarecimento geológico de determinado local em estudo, quando prospectado de acordo com as técnicas tradicionalmente usadas.

3.1 — Determinação da resistividade eléctrica do terreno. Traçado de curvas geoeléctricas

A técnica adoptada na determinação da resistividade eléctrica do terreno baseia-se na teoria da distribuição dos potenciais eléctricos num meio que por hipótese se considera homogéneo,

isótropo e contínuo, o qual é materializado pelo terreno cuja resistividade se pretende determinar.

Suponhamos que, por intermédio de um gerador eléctrico, se lança no terreno uma corrente de intensidade *I*, quando o circuito é fechado entre os pontos *A* e *B* (fig. 1), os quais, por hipótese, se encontram a distância finita um do outro e fazem parte de um meio contínuo, homogéneo e isótropo, sob o ponto de vista eléctrico [1]. Em regímen permanente, estabelece-se imediatamente um campo de potenciais a que corresponderão determinadas linhas de corrente e de potencial.

A diferença de potencial que se irá estabelecer entre os pontos *M* e *N* (fig. 1), é uma função da geometria da montagem, da resistividade eléctrica do meio e da intensidade da corrente que circula entre os pontos *A* e *B*.

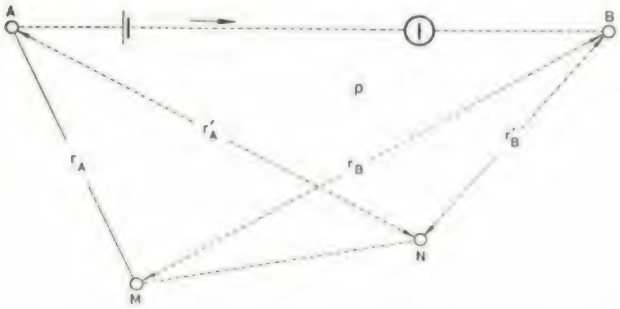


Fig. 1 — Esquema da configuração geral para a determinação da resistividade eléctrica pelo método dos 4 eléctrodos

Tal circunstância permite determinar a resistividade eléctrica do meio através de uma expresão do tipo:

$$\rho = 4 \pi K \frac{\Delta V}{I} \qquad (1)$$

Em que,

ρ — resistividade eléctrica do meio

K — constante geométrica da montagem adoptada, a qual depende da posição relativa dos pontos *A, B,* e *M, N.*

I — intensidade da corrente que circula entre os pontos *A* e *B.*

ΔV — diferença de potencial entre os pontos *M* e *N.*

Os valores de k, na sua forma mais genérica, serão dados pela expressão,

$$K = \frac{1}{\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} - \frac{1}{r'_A} + \frac{1}{r'_B}} \qquad (2)$$

na qual as distâncias r_A, r'_A, r_B e r'_B condicionam a posição relativa dos pontos *A, B* e *M, N,* tal como se apresenta na fig. 1.

Os valores de ΔV e I, referidos na expressão (1), são determinados experimentalmente, ao mesmo tempo que se adoptam posições relativas de eléctrodos *A, B* e *M, N,* de forma a simplificar, não só os trabalhos de campo mas ainda a determinação analítica da constante geométrica K.

Deste modo o equipamento utilizado na determinação experimental dos valores de ρ, é fundamentalmente constituído por um miliamperímetro e um milivoltímetro, especialmente escolhidos de acordo com o tipo de medidas a realizar, e um gerador eléctrico que forneça a corrente a lançar no terreno, a qual irá estabelecer e manter o campo de potenciais que artificialmente se pretende criar.

No que se refere ao dispositivo geométrico, a primeira simplificação a introduzir, para conseguir que a determinação analítica dos valores de *K* resulte expedita, consiste em colocar os pontos *A, B* e *M* e *N* no mesmo alinhamento recto (fig. 2).

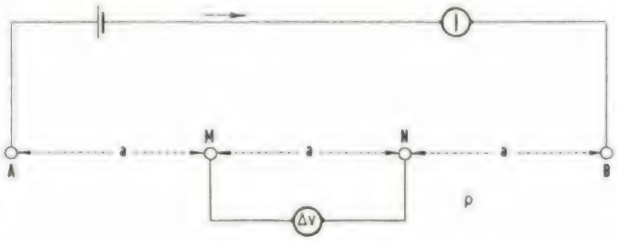


Fig. 2 — Esquema da montagem geométrica de *Wenner.*

Nestas condições, para $r_A = r'_B = a$ e $r'_A = r_B = 2a$, teremos o dispositivo geométrico de *Wenner*, o qual fornece valores de ρ dados pela expresão:

$$\rho = 4 \pi a \frac{\Delta V}{I} \qquad (3)$$

[1] — Uma montagem deste tipo raramente se aplica em prospecção geotécnica. As condições limites hipotèticamente consideradas só podem ser satisfeitas pela colocação dos pontos *A, B* e *M, N* no interior do terreno, e a grande profundidade, o que apresentaria um grande inconveniente de ordem prática.

No caso dos eléctrodos de corrente (AB) e de potencial (MN) se encontrarem todos no mesmo alinhamento recto e distanciados respectivamente de L e b, tal como se apresenta na fig. 3, teremos o dispositivo geométrico vulgarmente conhecido por *Schlumberger* [1] o qual fornece valores de ρ dados pela seguinte expressão:

$$\rho = \pi \frac{L^2 - b^2}{2b} \cdot \frac{\Delta V}{I} \qquad (4)$$

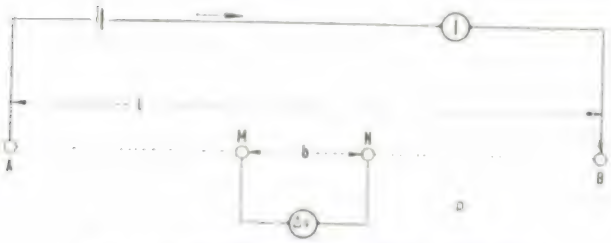


Fig. 3 — Esquema da montagem geométrica de *Schlumberger*

Nas aplicações práticas referentes à determinação experimental da resistividade eléctrica, a partir da superfície do terreno, os valores de ρ dados pelas expressões (1), (2) e (4) deverão ser multiplicados por 1 2, uma vez que tais condições limites correspondem sensìvelmente ao caso do sólido semi-indefinido.

Nesta hipótese, a expressão (1) tomará a forma,

$$\rho = 2 \pi K \frac{\Delta V}{I} \qquad (5)$$

enquanto as expressões (3) e (4), correspondentes ao dispositivo geométrico de *Wenner* e *Schlumberger*, tomarão respectivamente a forma,

$$\rho = 2 \pi a \frac{\Delta V}{I} \qquad (6)$$

$$\rho = \pi \frac{L^2 - b^2}{4b} \cdot \frac{\Delta V}{I} \qquad (7)$$

Na fig. 4 apresesenta-se um esquema geral da montagem de *Schlumberger* para a determinação da resistividade eléctrica a partir da superfície do terreno.

No quadro I apresenta-se uma tabela com as constantes geométricas correspondentes à aplicação da expressão (7) (dispositivo de *Schlumberger*), calculadas para várias distâncias entre eléctrodos de corrente (AB) e de potencial (MN), até à profundidade de 50 m.

Se o terreno é homogéneo, contínuo e elèctricamente isótropo, pelo menos até uma profundidade igual ou superior a metade da distância entre os eléctrodos A e B, os valores de ρ dados pelas expressões (6) e (7) coincidem com a resistividade *Ohmica* do meio e são independentes da profundidade da pesquisa. Tal como se apresenta na fig. 5, os valores da resistividade eléctrica do terreno não variam em função de (AB/2), distância esta que, dentro de certos limites e para o dispositivo geométrico de *Schlumberger*, condiciona a profundidade atingida pela pesquisa, verificando-se então a relação ρ (AB/2) = Constante.

No caso do terreno se apresentar heterogéneo, as resistividades eléctricas poderão variar em função da profundidade de pesquisa ou com a posição do local observado. Em tais circunstâncias os valores de ρ, obtidos através da utilização das expressões (6) e (7), não traduzem uma resistividade *Ohmica*, no verdadeiro sentido do termo, mas sim a *resistividade eléctrica aparente* do meio, a qual é normalmente designada por ρ_a.

Em virtude dos terrenos existentes na natureza não se apresentarem homogéneos, os valores de ρ obtidos através do método geoeléctrico correspondem quase sempre, a resistividades aparentes, as quais variam com a posição do ponto observado e com a profundidade da pesquisa. Deste modo os resultados das medições aparecem-nos sob a forma de curvas geoeléctricas,

$$\rho = f(a) \qquad (8)$$

e

$$\rho = f(AB/2) \qquad (9)$$

respectivamente para o dispositivo geométrico de *Wenner* e *Schlumberger*, as quais constituem o principal elemento de análise quando da interpretação dos resultados da pesquisa.

Naqueles casos em que o terreno se apresenta contínuo, homogéneo e elèctricamente isótropo, mas a determinada profundidade existe uma superfície de discontinuidade horizontal, tal como se apresenta na fig. 6, separando um meio de resistividade ρ_1 de outro meio de resistividade ρ_2, em que $\rho_1 < \rho_2$, as linhas de corrente ao atingirem a superfície de separação dos dois meios, com determinado ângulo de incidência α, sofrem uma refracção β, tal que $\text{tg. } \beta = \frac{\rho_2}{\rho_1} \text{ tg. } \alpha$

[1] — Poderão ser ainda considerados outros dispositivos geométricos satisfazendo sempre à equação (1).

inform

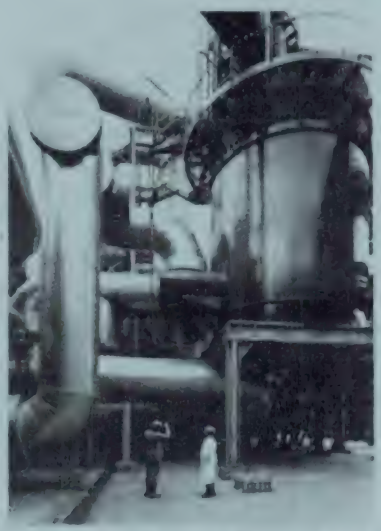
Bons vernizes com matérias-primas Bayer

BAYER

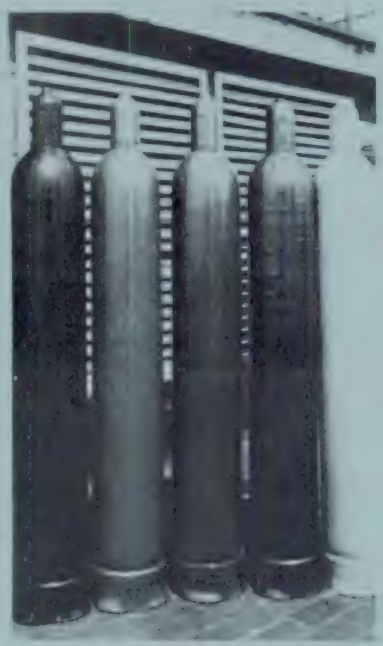
Esmaltes de Desmodur/Desmophen para pinturas industriais

3401

Recipiente esférico: Pintura resistente às intempéries em atmosfera industrial.



Instalação fabril: Pintura de protecção numa fábrica de produtos químicos.



Garrafas: Esmalte duma só demão, resistente ao choque.

Os esmaltes à base de Desmodur/Desmophen protegem as instalações industriais também contra os efeitos agressivos da atmosfera industrial.

A pintura e o esmalte têm uma missão extremamente importante sob o ponto de vista económico; a tinta que dá aos objectos uma aparência agradável deve ser simultâneamente uma protecção do material e das instalações contra a destruição. Isto diz respeito especialmente às instalações industriais: por exemplo, tubos condutores, guindastes, recipientes, peças de construção e paredes exteriores de edifícios fabris e outros; meios de transporte para pessoas e mercadorias; mas também pavimentos expostos a grande uso.

Só uma pintura duradoira, resistente às intempéries e aos agentes químicos, resistente ao atrito e ao riscar, evita a corrosão, o desgaste e o envelhecimento prematuro. Por isso os esmaltes precisam de aderir bem e de ser muito duradoiros

As pinturas feitas com esmaltes ou vernizes à base de Desmodur/Desmophen satisfazem em especial a tais exigências. Aderem excelentemente aos mais diversos materiais, como ferro, aço, madeira, aglomerados de madeira, betão, fibrocimento, plásticos, borracha e também a superfícies mais difíceis como os metais não ferrosos

Os esmaltes de Desmodur/Desmophen podem ser amplamente adaptados, na sua elasticidade e dureza, às condições existentes. Assim pode-se fabricar, por exemplo, vernizes ou esmaltes altamente elásticos para plásticos e para borracha, ou de grande dureza e tenacidade para aço e ferro.

Peça, por favor, mais material de informação, utilizando o boletim junto.

Firma

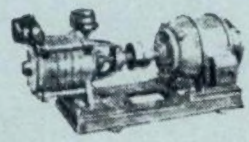
Nome

Endereço

S.A.R.L. QUIMICOR,
Representante em Portugal
Lisboa: Rua Sociedade Farmacêutica, 3
Tel. 42194
Porto: Rua de Santos Pousada, 421
Tel. 54141

desmodur n/desmophen

BOMBAS



Se tem um problema de bombas, consulte

VASCO PESSOA, LDA.

Rua da Boavista, 63

LISBOA

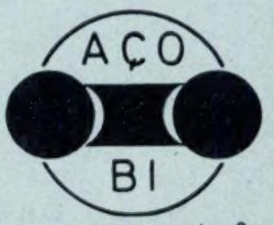
Companhia Portuguesa de Trefilaria

S. A. R. L.

ARMADURAS PRÉ-FABRICADAS **MALHASOL**

Tensão de segurança 3.000 Kgf/cm²

AÇO BI



Tensão de segurança 4.000 Kgf/cm²

AÇOS DE ALTA RESISTÊNCIA PARA BETÃO ARMADO

que pela eficiência técnica e económica a que conduzem, são um indispensável elemento na moderna construção civil

Para qualquer obra em betão armado consulte:

DIAL — GABINETE TÉCNICO

R. DO INSTITUTO INDUSTRIAL, 18-1.º Dt.º

TELEFONES 67 12 24/5 e 67 37 85 - LISBOA

Prédios, empenas, caves. Depósitos para águas, vinhos e aguardentes

Facultam-se certificados de ensaio dos Laboratórios Nacional de Engenharia Civil e da Junta Nacional do Vinho.

«IMPERMEÁBILIS»

O impermeabilizante oficialmente aconselhado em todas as argamassas de cimento

REVENDEDORES EM LISBOA:

João Pereira Vareiro & Filhos, Lda.
Rua Augusto José Vieira, 12 — Telef. 84 74 80

Manuel Pereira Matias, Lda.
Rua de Pedrouços, 105-A — Telef. 61 11 53

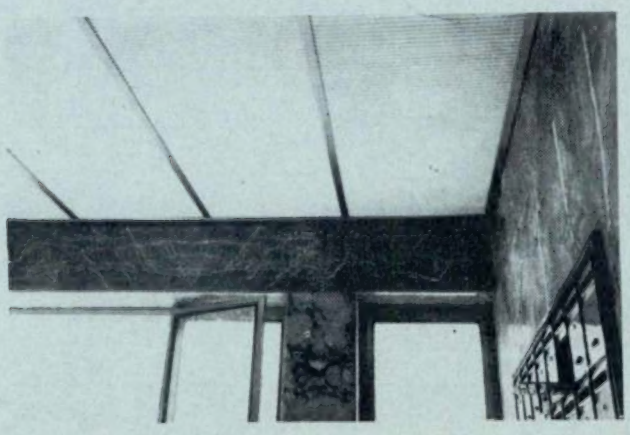
Manufacturas de Cimento Fortex, Lda.
Estrada de Benfica, 727 — Telef. 70 21 75

Sequeira & Santos, Lda.
R. José Joaquim Marques, 113—Tel. 230105—MONTIJO

Distribuidor geral para todo o Império Português:

ANSELMO DE MATOS

Av. Almirante Reis, 179, r/c — Telef. 4 64 39
LISBOA 1



RENOLUZ

O TECTO PLÁSTICO EM ESTEIRA CONTÍNUA E EM QUADRADOS

DIFUSOR DE LUZ

ECONÓMICO
O SUB-TECTO IDEAL QUE EVITA OS ACABAMENTOS SUPERIORES

EFICIENTE
TOTAL AUSÊNCIA DE SOMBRAS

DECORATIVO
UMA FORMA DE DECORAÇÃO HARMONIOSA E PRÁTICA

ORÇAMENTOS GRÁTIS

RENOR

RUA D. ESTEFÂNIA, 155-C — END. TELEGRÁFICO RENOLE — TELEFONE 53 77 54 - 73 57 49 — LISBOA - PORTUGAL

De igual modo, as equipotenciais sofrerão um desvio dado pela relação tg. $\beta' = \frac{\rho_2}{\rho_1}$ tg. α'.

Esta refracção irá modificar a posição das equipotenciais, relativamente a um meio totalmente homogéneo e isótropo, modificação essa que se traduzirá à superfície do terreno, por uma alteração dos valores de ΔV a observar durante as medições. Nestas condições, as resistividades calculadas com estes valores de ΔV, fazendo uso das expressões (6) ou (7), serão aparentes e traduzem um contributo ponderado das resistividades ρ_1 e ρ_2.

A resistividade aparente ρ_a poderá coincidir com a resistividade *Ohmica* ρ_1 do primeiro meio se for adoptado um espaçamento de eléctrodos (AB) tal que as linhas de corrente não cheguem a atingir pràticamente o meio de resistividade ρ_2.

A partir do conhecimento da resistividade eléctrica aparente do terreno e tendo em atenção a sua variação em superfície e em profundidade, torna-se possível tirar importantes conclusões respeitantes à natureza do meio, estratigrafia das formações geológicas em questão, etc.

A pesquisa geoeléctrica dos terrenos de fundação é normalmente realizada através de duas técnicas distintas, no que se refere à determinação dos valores de ρ_a:

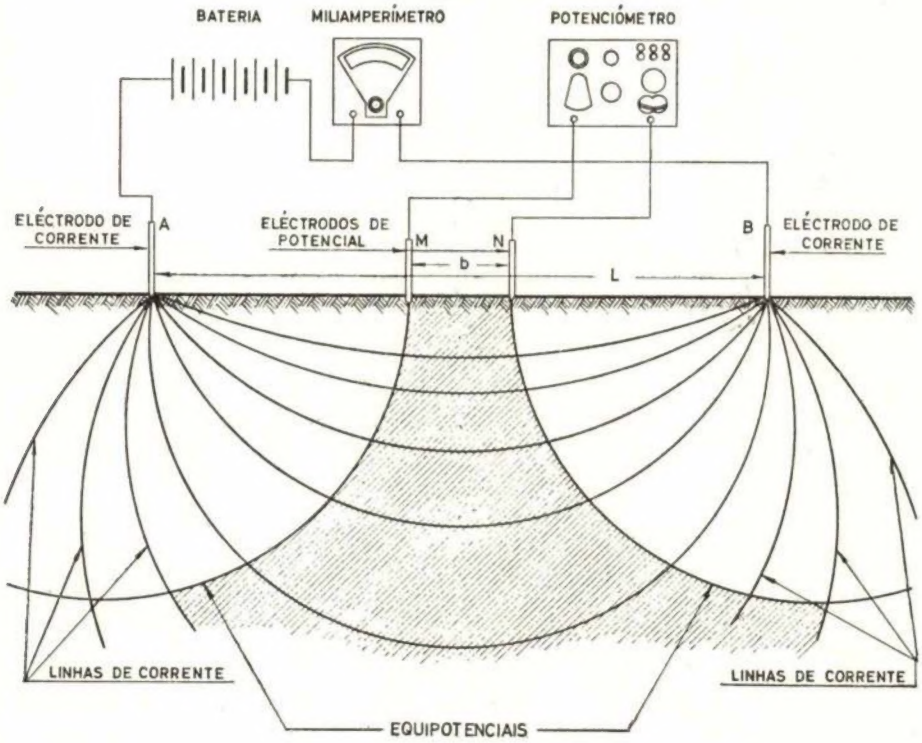


Fig. 4 — Esquema da montagem para a determinação da resistividade eléctrica a partir da superfície do terreno.

Sondagem geoeléctrica e perfil de resistividade a profundidade constante.

Na sondagem geoeléctrica, procede-se à determinação da resistividade eléctrica aparente do subsolo, em função da profundidade de pesquisa, através de medições efectuadas à superfície do terreno a prospectar. Assim, ao fazer uso da expressão (6), para cada valor de *a*, correspondente à profundidade de pesquisa, procede-se à determinação de ΔV e *I*, o que nos permitirá calcular ρ_a. De igual modo, para fazer uso da expressão (7), para cada valor AB/2 (ou L/2),

correspondente à profundidade de pesquisa, procede-se à medição de ΔV, I e ao cálculo de ρ_a, o que permitirá traçar um gráfico geoeléctrico tal como se apresenta na fig. 7. Neste caso a distância *b*, entre eléctrodos de potencial, é mantida fixa enquanto for possível medir ΔV com razoável precisão, tendo em conta a sua influência no cálculo de ρ_a.

Durante a realização de uma sondagem geoeléctrica, o ponto médio da montagem (AB/2) deverá ser mantido fixo e corresponde teòricamente ao local sondado. No entanto os resultados obtidos

QUADRO I

Constantes geométricas para a aplicação do método de Schlumberger

AB/2 \ MN	1 m	2 m	4 m	8 m
1	2,356			
1,2	3,739			
1,4	5,372			
1,7	8,294			
2	11,781	4,712		
2,5	18,850	8,262		
3	27,489	12,566		
3,7	42,223	19,949		
4,4	60,036	28,840	12,064	
5,45	92,520	45,082	20,169	
6,5	131,947	64,796	30,034	
8	200,277	98,960	47,124	18,850
9,5	282,744	140,194	67,742	29,157
11,75	432,944	215,294	105,558	48,004
14	614,968	306,306	150,797	70,686
17	907,137	452,390	223,996	107,443
20	1 255,85	626,749	311,018	150,797
22	1 519,75	758,696	376,992	183,784
24	1 808,77	903,210	449,249	219,912
26,5	2 205,40	1 101,54	548,398	269,549
29	2 641,30	1 319,47	657,380	323,978
32	3 216,21	1 600,69	801,108	392,700
35	3 847,67	1 922,65	950,334	474,774
38,5	4 655,85	2 326,76	1 161,01	578,054
42	5 540,99	2 769,32	1 382,30	686,440
46	6 646,84	3 322,24	1 658,77	826,241
50	7 853,21	3 925,42	1 960,35	975,467

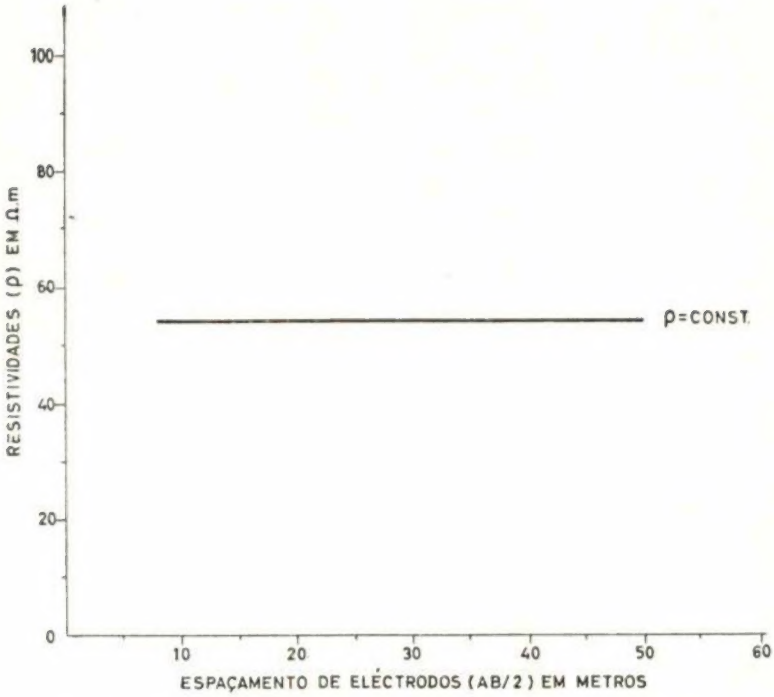


Fig. 5 – Gráfico da função $\rho = f(AB/2)$, para $\rho =$ constante

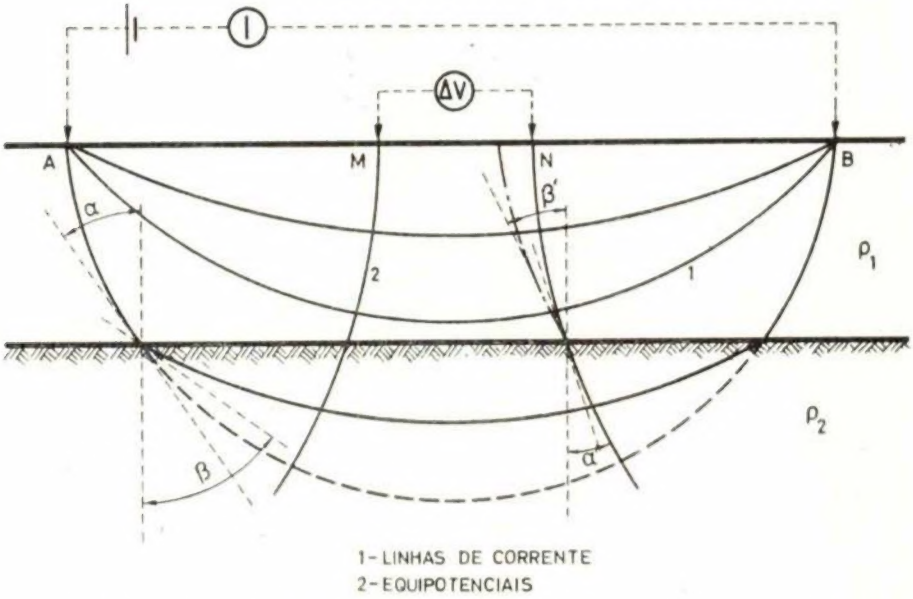


Fig. 6 — Esquema da distribuição das equipotenciais e das linhas de corrente num meio constituído por duas camadas homogéneas, paralelas e elèctricamente distintas.

neste tipo de prospecção não traduzem um valor pontual, tal como acontece com as sondagens mecânicas, mas sim uma situação média das condições geológicas verificadas numa zona situada nas imediações do local sondado e cuja área vai aumentando com a profundidade da pesquisa.

Na prospecção efectuada através de perfis de resistividade a profundidade constante, uma vez fixada a profundidade de pesquisa mais conveniente (valor de a na expressão (7), procede-se